

Aku-Pekka Fagerholm

# Radiolinkkien suuntausjärjestelmän suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

29.4.2016

Tekijä Otsikko	Aku-Pekka Fagerholm Radiolinkkien suuntausjärjestelmän suunnittelu
Sivumäärä Aika	47 sivua + 13 liitettä 29.4.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaajat	Tuntiopettaja Tero Karttiala Siirtoyhteystekniikan päällikkö Tapani Lerkki
<p>Insinööritöyssä suunniteltiin Yleisradio Oy:n televisio- ja radiolähetyskäytössä olevan mastoauton mastoon sähköinen linkkien suuntausjärjestelmä. Suuntausjärjestelmän tarkoituksena oli helpottaa ja nopeuttaa radiolinkkiyhteyksien rakentamista sekä parantaa työturvallisuutta. Järjestelmän avulla mahdollistettiin, että 40 m korkean maston huipulle ei tarvitsisi kiivetä linkkien suuntaamiseksi.</p> <p>Työhön kuului järjestelmän osien valinta, mekaniikkasuunnittelu sekä lujuuslaskelmien tekeminen työssä suunnitelluille rakenteille. Insinööritöyn aiheesta rajattiin pois järjestelmän vaatimien kaapelointien suunnittelu, sekä sähköjärjestelmän suunnittelu.</p> <p>Mekaniikkasuunnittelussa keskeisenä apuvälineenä käytettiin Catia V5 CAD -ohjelmistoa. CAD-ohjelmistolla tehtiin 3D-mallit kaikista järjestelmän osista. Osat koottiin myös kokoonpanomalliksi. Rakenteen lujuuslaskelmat ja materiaalien mitoitus laskettiin Mathcad Prime 3.0 -matematiikkaohjelmaa apuna käyttäen.</p> <p>Työn tuloksena saatiin suuntausjärjestelmän osien työpiirustukset ja kokoonpanopiirustukset osaluetteloineen. Työpiirustukset tehtiin Catia V5 -ohjelmistolla 3D-mallien pohjalta. Piirustusten perusteella järjestelmä on tarkoitus valmistaa ulkopuolisen konepajan toimesta. Kaapelointien ja sähköjärjestelmän suunnittelu jää rakenteen valmistavan toimijan tehtäväksi.</p>	
Avainsanat	Mekaniikka, CAD, suuntausjärjestelmä, radiolinkki

Author Title	Aku-Pekka Fagerholm Design of a Radio Link Orientation System
Number of Pages Date	47 pages + 13 appendices 29 April 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering and Production Technology
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructors	Tero Karttiala, Lecturer Tapani Lerkki, Head of Transmission and Communication Circuits
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to design a radio link orientation system for a mast truck. This thesis was assigned by Yleisradio Oy. The objective was to simplify the radio link system assembly process and also improve occupational safety. The system was designed to enable link orientating without climbing to the top of the 40 m high mast.</p> <p>The thesis included the selection of the required parts for the system as well as mechanical design and strength calculations for the designed structures. The design of cabling and electric systems were not examined in this thesis.</p> <p>The CAD program Catia V5 was used in designing 3D models. It was an essential tool. Catia was used to create 3D models of all parts included. The Mathcad Prime 3.0 math program was used solving strength calculations.</p> <p>As a result of this Bachelor's thesis, technical drawings were created. These drawings were created using the Catia V5 CAD program, based on the 3D models. In the future the system will be constructed by an outsourced company. The design of cabling and electric systems will be carried out by the company.</p>	
Keywords	Mechanics, CAD, Orientation system, Radio link

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Suuntausjärjestelmän suunnittelu	2
2.1	Suunnittelutyökalut	2
2.2	Esisuunnitelma	2
2.3	Kääntömoottoreiden valinta	5
2.4	Moottoreiden kannakerunko	8
2.5	Teleskooppimaston valinta	10
2.6	Linkkien kiinnitys kääntömoottoreihin	12
2.7	Ohjausyksikön valinta	13
2.8	Ohjausyksikön sijoitus	13
3	Laskelmat	15
3.1	Tuulikuorma	15
3.1.1	Virtausopin mukainen menettely	15
3.1.2	Eurokoodi 5	17
3.1.3	Laskentatapojen vertailu	19
3.2	Lumikuorma	20
3.3	Moottoreiden rasituksien tarkistus	22
3.3.1	Tarkastelu 1: masto vaakatasossa	23
3.3.2	Tarkastelu 2: masto pystyasennossa	25
3.4	Rungon lujuuslaskenta	28
3.4.1	Kuormitustilanne 1: masto pystyssä	28
3.4.2	Kuormitustilanne 2: masto vaakatasossa	35
3.5	Hitsausseamojen mitoitus	36
3.5.1	Kääntömoottorien kiinnikkeen ja palkin välinen hitsi	37
4	Tekniset piirustukset	41
4.1	Piirustusten merkitys ja niiden perusvaatimukset	41
4.2	Piirustusten laadintaprosessi	41
4.3	Piirustusten numerointi	42
4.4	Osaluettelot	43

4.5 Toleranssit	43
5 Yhteenveto	45
Lähdeluettelo	46
Liitteet	
Liite 1. Kääntömoottorin AR/AE 1064 tekniset tiedot	
Liite 2. Piirustus nro 10000 (pääkoonpanopiirustus)	
Liite 3. Piirustus nro 9000	
Liite 4. Piirustus nro 8000	
Liite 5. Piirustus nro 7000	
Liite 6. Piirustus nro 6000	
Liite 7. Piirustus nro 9005	
Liite 8. Piirustus nro 9004	
Liite 9. Piirustus nro 9002	
Liite 10. Piirustus nro 9001	
Liite 11. Piirustus nro 8001	
Liite 12. Piirustus nro 7001	
Liite 13. Piirustus nro 6001	

## Lyhenteet

Az	<i>Azimuth</i> , azimuutti. Horisonttijärjestelmässä suunnan koordinaatti, joka ilmoittaa suunnan maata pitkin yleensä asteissa. Käytetään esim. lautasantennien suuntauksessa.
CAD	<i>Computer-aided design</i> . Tietokoneavusteinen suunnittelu. 2- ja 3-ulotteisten kappaleiden mallintaminen.
EI	<i>Elevation</i> , korkeus. Horisonttijärjestelmässä korkeuden koordinaatti, joka ilmoittaa suunnan horisontaalitasosta ylös yleensä asteissa. Käytetään esim. lautasantennien suuntauksessa.
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> . Kansainvälinen standardisoinnin keskusjärjestö, joka kehittää, julkaisee ja ylläpitää kansainvälisiä standardeja. Kansalliset standardisoimiselimet, kuten Suomen standardisoimisliitto ovat sen jäseniä.
SFS	Suomen standardisoimisliitto ry. Suomen kansallinen standardisoinnin keskusjärjestö.

## 1 Johdanto

Tässä insinöörityössä suunnitellaan televisio- ja radio-ohjelmansiirtokäyttöön tarkoitetun mastoauton mastoon radiolinkkien sähköinen suuntausjärjestelmä. Järjestelmä on tarkoitus rakennuttaa insinöörityön suunnitelmien mukaisesti ulkopuolisen konepajan toimesta. Työn tavoitteena on tehdä tarvittavat työpiirustukset sekä osaluettelot. Työhön sisältyy linkkien kääntämiseen tarvittavien moottorien ja niiden ohjainlaitteiden valinta sekä sijoittamisen ja kiinnittämisen suunnittelu. Laitteiden vaatima kaapelointi otetaan huomioon, mutta sen suunnittelua ei sisällytetä työhön.

Työn tilaaja on Yleisradio Oy eli Yle. Yleisradio Oy on Suomen valtion omistama julkisen palvelun viestintäyhtiö. Insinöörityö on osa Ylen vuonna 1989 rakennetun mastoauton modernisointia. Mastoauto on tarkoitettu tilapäisten radiolinkkiyhteyksien rakentamiseen alueille, joilta ei ilman mastoa pysty yhteyttä rakentamaan. Mastoautoa käytetään myös langattomien kameroiden vastaanottopisteenä. Suorien lähetyksien helikopterikuvauksissa mastoauton käytöstä on hyötyä. Mastoautolla on myös oma tehtävänsä Suomen huoltovarmuuden ylläpitämisessä. Se voi korvata tilapäisesti esimerkiksi vaurioituneen kiinteän linkkimaston.

Sähköisen suuntausjärjestelmän on tarkoitus helpottaa ja nopeuttaa tilapäisten radiolinkkiyhteyksien rakentamista. Nykyään linkkien suuntaaminen suoritetaan kiipeämällä käyttökunnossaan yli 40 m korkean maston huipulle. Maan tasalta ohjattava suuntausjärjestelmä helpottaa ja nopeuttaa yhteyksien rakentamista, sekä on merkittävä työturvallisuutta parantava seikka. Mastoauton käyttöasteen odotetaan lisääntyvän päivityksen myötä. Kääntömoottoreita on mahdollista käyttää myös kamerajalkana, jolloin videokameran kuvaa pystytään kontrolloimaan helposti maasta käsin.

Maston nykyiseen rakenteeseen on mahdollista kiinnittää kolme erillistä radiolinkkipakettia, joista kukin sisältää peilin, sekä kaksi up/down -konvertteria. Insinöörityössä mastoon on tarkoitus suunnitella paikka kahdelle tai kolmelle erikseen ohjattavalle linkkipaketille, sekä radion harava-antenneille. Jokaista linkkipakettia täytyy pystyä suuntaamaan erikseen sekä vaaka- että pystytasossa.

## 2 Suuntausjärjestelmän suunnittelu

### 2.1 Suunnittelutyökalut

Suunnittelutyö ja dokumentointi toteutettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun tietojärjestelmässä. Suunnittelussa käytettiin keskeisenä apuvälineenä Catia V5 CAD -ohjelmistoa. Sillä tehtiin 3D-mallit kaikista suunnittelun kannalta tärkeistä osista ja kokonaisuuksista. Catia-ohjelmiston avulla pystyttiin tekemään työ- ja kokoonpanopiirustukset sekä osaluettelot suoraan 3D-mallien pohjalta.

Laskelmien ratkaisemisessa käytettiin Mathcad Prime 3.0 -matematiikkaohjelmistoa. Matematiikkaohjelmiston käyttö laskujen laskemisessa helpotti ja nopeutti työskentelyä. Ohjelmistossa on yhdistettynä laskujen dokumentointi sekä itse laskin, jolloin mahdollisten virheiden korjaaminen on helppoa ja säästää aikaa sekä paperia. Laskelmia on myös helppo siirtää eri ohjelmistojen välillä, kun ne ovat valmiiksi digitaalisessa muodossa.

Projektin aikataulutuksessa käytettiin apuna MS Project -projektinhallintaohjelmistoa. Ohjelmiston käyttö aikataulutuksessa helpotti jäsentämään projektin kannalta tärkeitä asioita. Ohjelmaa päivitettiin sitä mukaa kuin aikatauluun merkittyjä asioita saatiin valmiiksi. Ohjelman avulla nähtiin helposti, missä aikataulussa projekti etenee.

### 2.2 Esisuunnitelma

Mastoauto on erikoisajoneuvoksi rekisteröity vuoden 1989 Karhu-Sisu-kuorma-auto (kuva 1), jonka rungon päälle on rakennettu teleskooppimasto. Maston juuri on kiinnitettyä auton takaosaan. Masto on kuljetusasennossa kaadettuna hytin päälle. Kun masto nostetaan pystyyn, sen korkeus on noin 12 m ja se saadaan venytettyä n. 40 m korkeaksi. Auton suurin kokonaismassa on 26 000 kg.





Kuva 1. Yleisradion mastoauto.

Projektin aluksi kartoitettiin vaatimuksia uudelle linkkien suuntausjärjestelmälle. Vaatimuksena oli saada mastoon yhtä aikaa vähintään kaksi, mielellään kolme erillistä linkkipakettia. Linkkipaketteja tulisi voida ohjata yksi kerrallaan maan tasolta käsin. Moottoreihin tulee olla mahdollista kiinnittää peiliantennilliset radiolinkit, kameralinkkien vastaanottolaitteet sekä Yleisradiolla käytössä olevia videokameroita.

Suunnittelun alussa tehtiin tarkat 3D-mallit kaikista niistä tarvittavista komponenteista, jotka olivat etukäteen tiedossa. Mallinnettavia komponentteja olivat mm. 2 erikokoista radiolinkkipakkia, maston pää, johon vanha linkkien kannakerunko on kiinnitetty, sekä linkkien kannakkeen runkorakenne (kuva 2). Kameralinkkien vastaanottolaitteita ja kameraa ei mallinnettu, sillä ne ovat linkkipakkeja pienempiä kokonaisuuksia, jotka mahtuvat varmasti mastoon, mikäli linkit mahtuvat. Vanha linkkien kannakkeen runkorakenne mallinnettiin, jotta nähdään pystytääkö sitä hyödyntämään uudessa rakenteessa, vai pitääkö se hylätä kokonaan.



Kuva 2. Maston pää ja vanha linkkien kannakerunko.

Alkuperäinen rakenne linkkien kiinnitykseen on hyvin yksinkertainen. Se on suunniteltu 90-luvun alussa käytössä olleiden radiolinkkien vaatimusten mukaan. Maston huipussa on erillinen runko, jossa on poikkitangossa kiinnikkeet linkkien jalkoja varten. Tangossa on paikka kahdelle linkin jalalle.

Kolmannelle jalalle saadaan paikka haarukan keskellä sijaitsevaan isompaan kiinnittimeen asennettavan erillisen pystytangon avulla. Kolmas kiinnike linkin jalalle sijaitsee pystytangon päässä n. 1,5 m korkeammalla kuin kaksi muuta jalkaa. Kolmannen linkin jalan täytyy olla reilusti korkeammalla kuin kaksi muuta linkkiä, jotta niihin kiinnitetyt antennit mahtuvat liikkumaan osumatta toisiinsa. Maston ollessa pystyasennossa keskimäisen linkin jalan kiinnike on yli 2 m:n korkeudella, jolloin linkin suuntaus ja operointi käsin on erittäin hankalaa. Korkealla olevaa linkkiä suunnatakseen pitää nousta seisomaan kahden muun linkin kiinnitystä varten olevan poikkitangon päälle. Tämä aiheuttaa merkittävän työturvallisuusriskin. Kuitenkin hyvin harvoin joudutaan käyttämään kolmea linkkiä yhtä aikaa.

Linkkien jalkoja varten olevat kiinnittimet on tarkoitus korvata kääntömoottoreilla, joissa on valmiiksi linkkien pohjaan sopivat kiinnittimet. Rakenteen suunnittelussa haasteita aiheuttaa lähinnä sen kokoon liittyvät rajoitukset maston ollessa kuljetusasennossa. Masto tulee kuljetusasennossaan noin 1—2 m auton keulan yli. Maston keulan ylitykseen on pitänyt hakea erivapaus. Liikenneministeriön myöntämän erivapauden mukaan masto saa tulla auton keulan ulkopuolelle määrän, joka on enintään 35 % auton akselivälistä (Kärki & Lampinen 1987). Tämä rajoittaa maston päähän tulevan runkorakenteen korkeuden maksimissaan 460 mm:iin. Tarkoitus on saada kaikki linkkien suuntausjärjestelmän kiinteät osat mahtumaan tämän mitan sisälle, jotta rakenteelle ei tarvitse hakea uutta erivapautta. Pitkällä auton edessä kaartava maston pää hankaloittaa mastoauton ajamista. Kaikki mahdollinen pituus täytyy saada pois auton keulaylityksestä myös ajo-ominaisuuksia ajatellen.

### 2.3 Kääntömoottoreiden valinta

Moottorien perusvaatimuksia ovat vähintään 360° kääntöastetta horisontaalitasossa ja n. +5° — -15° korkeussäätöä. Lisäksi moottorit on saatava suunnattua tarkasti ja välyksien on oltava pienet, jotta ne pysyvät suunnassaan. Vaativien sääolosuhteiden kesto on myös välttämätöntä, sillä moottorit tulevat olemaan poikkeuksetta ulkokäytössä sään armoilla. Talviolosuhteissa jään sekä liikenteen vesi- ja suolaroiskeet aiheuttavat omat vaatimuksensa materiaaleille.

Kääntömoottoreiden valinta aloitettiin tarkastelemalla jo olemassa olevissa samantyyppisissä konstruktioissa käytettyjä komponentteja. Vastaavanlaiseen käyttöön rakennettu mastoauto löytyy Ruotsista. Tässä autossa kääntömoottoreina käytetään Saksalaisen Winter Maschinenbaun valmistamaa antennin kääntömoottoria. Käyttökokemuksen perusteella kyseinen moottori on turhan hidas liikkeissään nopeuksien ollessa vaakatasossa noin 1,2 °/s ja korkeussuunnassa 0,1 °/s. Moottori on myös turhan järeä painaessaan jopa 80 kg.

Winter Maschinenbau valmistaa monia erityyppisiä kääntömoottoreita. Heidän mallistotaan lähdettiin etsimään sopivaa moottoria, sillä myös Yleisradiolla on aikaisempaa kokemusta kyseisen yrityksen tuotteista. Kahdessa Yleisradion satelliittiautossa on usean vuoden ajan ollut käytössä Winter Maschinenbaun valmistama AR/AE 1047 (kuva 3) -

kääntömoottori (Lerkki 2015). Moottoria käytetään autoissa olevien satelliittipeilien suuntaukseen. Tämä kyseinen moottorityyppi osoittautui erittäin varteenotettavaksi vaihtoehdoksi myös mastoautoon liikelaajuuksien ja kokonsa vuoksi. AR/AE 1047 -kääntömoottori on myös riittävän nopea liikkeissään, eli n. 2,0 °/s sekä korkeus- että vaakasuuntaan.



Kuva 3. Moottori AR/AE 1047 (Subject to technical modifications 2011).

Winter Maschinenbaun insinöörin mukaan heillä on kaksi varteenotettavaa vaihtoehtoa työn käyttötarkoitukseen. Sopivimmat vaihtoehdot olivat Ylen satelliittiautoissakin käytetty AR/AE 1047 –moottori ja sen kanssa hyvin samantyyppinen AR/AE 1064 (kuva 4) (Winter 2015). Moottorit ovat kestävyydeltään, painoltaan sekä kääntönopeuksiltaan hyvin samanlaisia, mutta mittasuhteissa ja rakenteessa on pieniä eroavaisuuksia. Moottoreista ei ollut saatavana valmiita 3D-malleja. Winter Maschinenbau toimitti molemmista moottoreista piirustukset, joiden pohjalta päätettiin tehdä 3D-mallit, jotta voitiin tarkastella niiden sopivuutta tähän käyttötarkoitukseen.





Kuva 4. Moottori AR/AE 1064 (Subject to technical modifications 2011).

Moottoreiden 3D-malleja vertaillen tähän kokonaisuuteen paremmaksi vaihtoehdoksi osoittautui AR/AE 1064 -moottori. Kyseinen moottori on 22 mm matalampi kuin AR/AE 1047, ja sen muoto sallii peiliantennille suuremman korkeussuuntaisen liikkeen. Moottorin soveltuvuus siihen kohdistuvien rasituksien puolesta käsitellään kappaleessa 3.1. Moottorin tekniset tiedot löytyvät liitteestä 1.

## 2.4 Moottoreiden kannakerunko

Kääntömoottorin tultua valituksi tarkasteltiin vaihtoehtoja moottoreiden maston huippuun kiinnittämiseksi. Ensimmäisiä asioita oli selvittää, kuinka monta kääntömoottoria mastoon on mahdollista asentaa. Moottoreiden sijoitus aloitettiin sovittamalla niitä vanhaan runkorakenteeseen, joka oli tietokoneella mallinnettu aikaisemmin. 3D-mallista oli helppo tarkastaa rakenteen korkeus, joka ei saa ylittää 460 mm.

3D-mallin tarkastelussa selvisi, että kaksi moottoria mahtuu helposti maston huipulle vierekkäin. Koska masto kuljetusasennossaan tulee auton keulan yli, kolmannen moottorin asentaminen edellyttäisi sen olevan irrotettava. Moottorin tulisi olla kiinnitettynä mastosta irrotettavaan palkkiin, joka nostaisi moottorin n. 1,5 m korkeammalle kuin kaksi muuta moottoria. Moottorin painaessa kannakkeineen yli 60 kg olisi kolmannen moottorin paikalleen nostaminen ja laskeminen liian työlästä ja vaatisi nosturin käyttöä sen asentamiseksi. Kolmen linkin yhtäaikainen käyttö on niin harvinaista, että päätettiin kiinnikkeiden suunnittelemisesta kahdelle moottorille kolmen sijasta.

Vanhan kannakerungon tarkastelussa huomattiin, että rakenne on liian korkea, jotta moottorit voitaisiin kiinnittää siihen suoraan. Rakenne ylittäisi Liikenneministeriön erivapaudessa sallitun keulan ylityksen määrän. Kolmannen kääntömoottorin jäätyä toteuttamatta, myös aikaisemmin käytössä olleen keskikannakkeen käyttöä voisi helpottaa nykyaikaisemmalla ratkaisulla. Vanhan kannakerungon hyödyntämisessä tulisi tehdä niin paljon muutoksia, että helpompaa ja halvempaa on aloittaa alusta ja suunnitella kokonaan uusi runko.

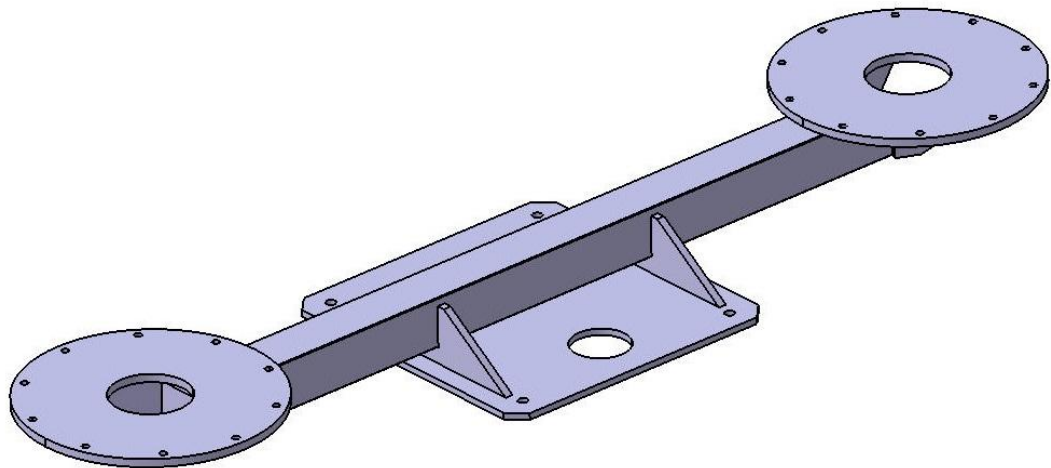
Haasteita moottorien kiinnittämislle aiheutti rajatun korkeuden lisäksi linkkien etäisyys toisistaan. Linkkien tulee olla mahdollista kääntyä joka suuntaan osumatta toisiinsa, jotta linkit pystytään suuntaamaan mihin tahansa riippumatta auton asennosta. Myös tahattomien laiterikkojen mahdollisuus pienenee, kun linkkiä ei voi kääntää kosketukseen viereisen peilin kanssa. Toisaalta moottoreiden tulee olla mahdollisimman lähellä toisiaan, jotta ne eivät ole tiellä esimerkiksi kaupunkiolosuhteissa autoa ajaessa. Taajamissa ja kaupunkien keskusta-alueilla erityisesti liikennevalojen ja liikennemerkkien kanssa on noudatettava erityistä varovaisuutta pitkän keulaylityksen vuoksi.

Yksi vaihtoehto olisi tehdä moottoreita kannattaviin poikkitankoihin nivelet, jotta moottorit saataisiin kääntymään alas. Tämä vaihtoehto on kuitenkin toissijainen verrattuna siihen, että moottorit saataisiin asennettua täysin kiinteästi. Ylimääräiset nivelet ja kannakkeet tuovat aina lisää epävarmuutta ja huollettavia osia.

Rungon suunnitteluun lähdettiin seuraavien vaatimuksien pohjalta:

- Moottorit ovat mahdollisimman ylhäällä, jotta turvanarun kaiteen ja rungon väliin jää tilaa.
- Moottorien ollessa kuljetusasennossa ne tulevat maksimissaan 460 mm maston päätä ylemmäs.
- Moottorit ovat mahdollisimman lähellä toisiaan, mutta niin että linkkipeilien ei ole mahdollista osua toisiinsa.
- Linkkien väliin asennetaan teleskooppimasto, jota voi käyttää esim. radion harava-antennien kannakkeena.

Kannakerungossa (kuva 5) käytetään saman tyyppistä rakennetta kuin vanhassa rungossa. Linkkien kannakkeena toimii poikkitanko, johon hitsataan kiinnikkeet kääntömoottoreille. Poikkitanko hitsataan kolmiotukien välityksellä kiinni levyyn, joka pultataan maston päähän kiinni. Poikkitangon korkeus sovitetaan kolmiotukien avulla niin, että rakenteen korkeus jää juuri alle sallitun 460 mm:n. Palkin pituus ja linkkien kiinnikelevyjen etäisyys toisistaan sovitetaan niin, että linkkipeilit eivät kääntyessään osu toisiinsa, eivätkä teleskooppimastoon, joka on niiden välissä. Lisäksi moottoreiden kiinnikelevyjen alle hitsataan jäykistelevyt, jotka tukevat kiinnikelevyjä ja toimivat myös varmistusnarun ohjaimina kuljettaessa moottorin puolelta toiselle. Kiinnikelevyt estävät mastossa olevassa varmistusnarun kiinnitystangossa kulkevan narun takertumista poikkitangon päähän.



Kuva 5. Runkopalkki.

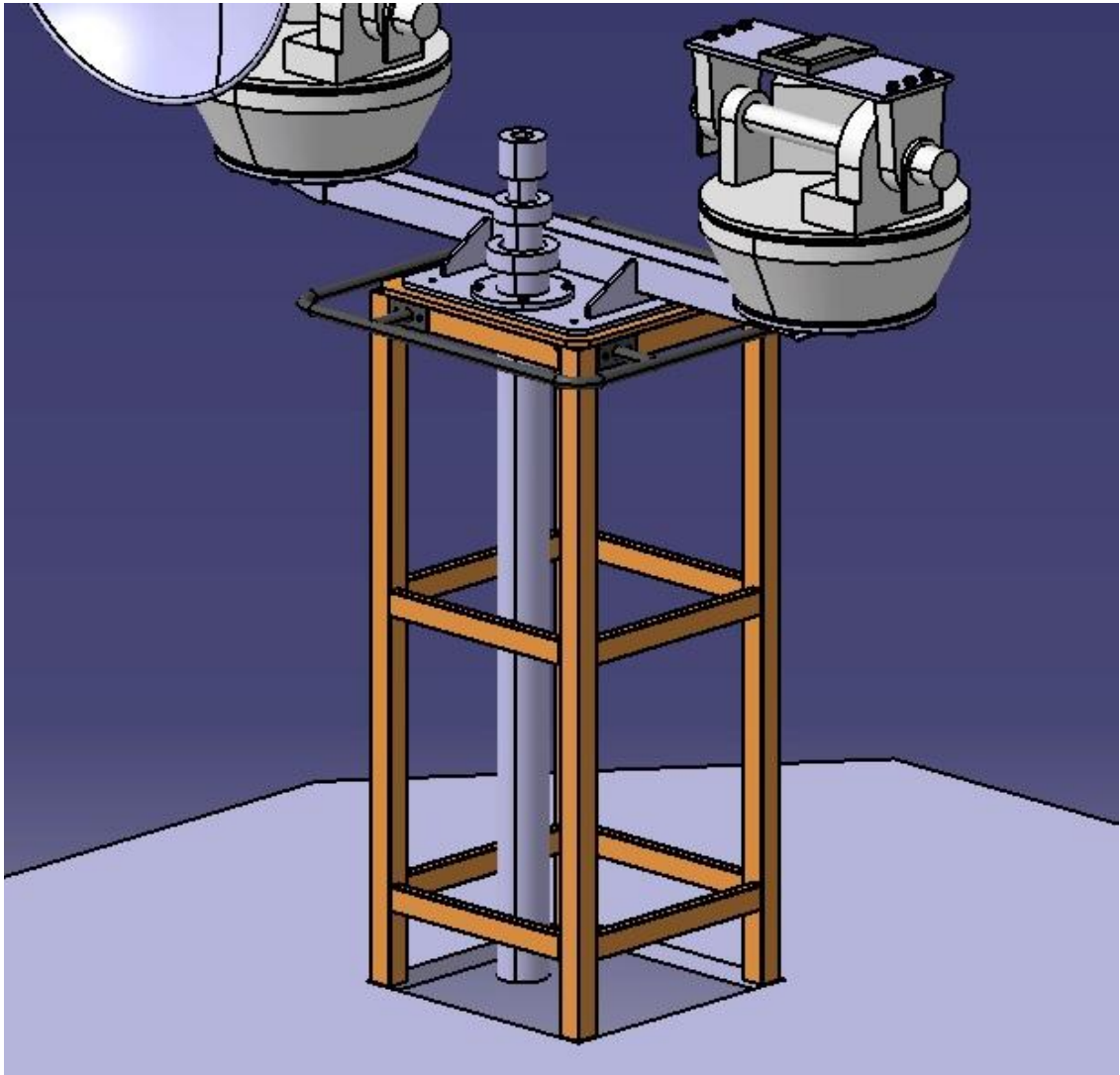
Rakenteen kokoamiselle vaihtoehtoina olivat ruuvi- tai hitsiliitokset. Hitsiliitokseen päädyttiin muun muassa siksi, että kääntömoottorien kiinnityslevyjen kiinnittämisessä olisi joka tapauksessa tarvittu kaksi hitsiliitosta. Hitsattu rakenne on myös huoltovapaampi kuin pulteilla ja muttereilla koottu rakenne. Poikkitangon kiinnitys olisi onnistunut pelkästään pulttikiinnityksellä. Koska rakennetta ei ole tarvetta purkaa, niin se päätettiin koota hitaamalla.

## 2.5 Teleskooppimaston valinta

Euroopassa on useita yrityksiä, jotka valmistavat ja myyvät erilaisiin tarkoituksiin rakennettuja teleskooppimastoja. Lisämastoksi mastoauton päähän sijoitettavaksi sopivin vaihtoehto löytyi englantilaiselta Total Mast Solutionsilta. Yritys suositteli käyttämään tässä tapauksessa 80 mm ulkohalkaisijaltaan olevaa 3-osaista teleskooppimastoa CO 5313H (Wells 2015). Masto on kokoonpantuna 1 480 mm pitkä ja avattuna 3 470 mm. Pituus riittää hyvin siihen, että linkkien yläpuolelle saa kiinnitettyä tarvittaessa erilaisia kevyitä antennejä. Suurin sallittu massa maston päässä on 28 kg.

Lisämasto sijoitetaan maston sisälle siten, että se tulee läpi maston yläosasta ja runkopalkin pohjalevystä (kuva 6). Teleskooppimasto kiinnitetään tehtaan toimittamilla lisäosilla yläpäästä runkopalkin pohjalevyyn ja alapäästä maston ristikkorakenteeseen.



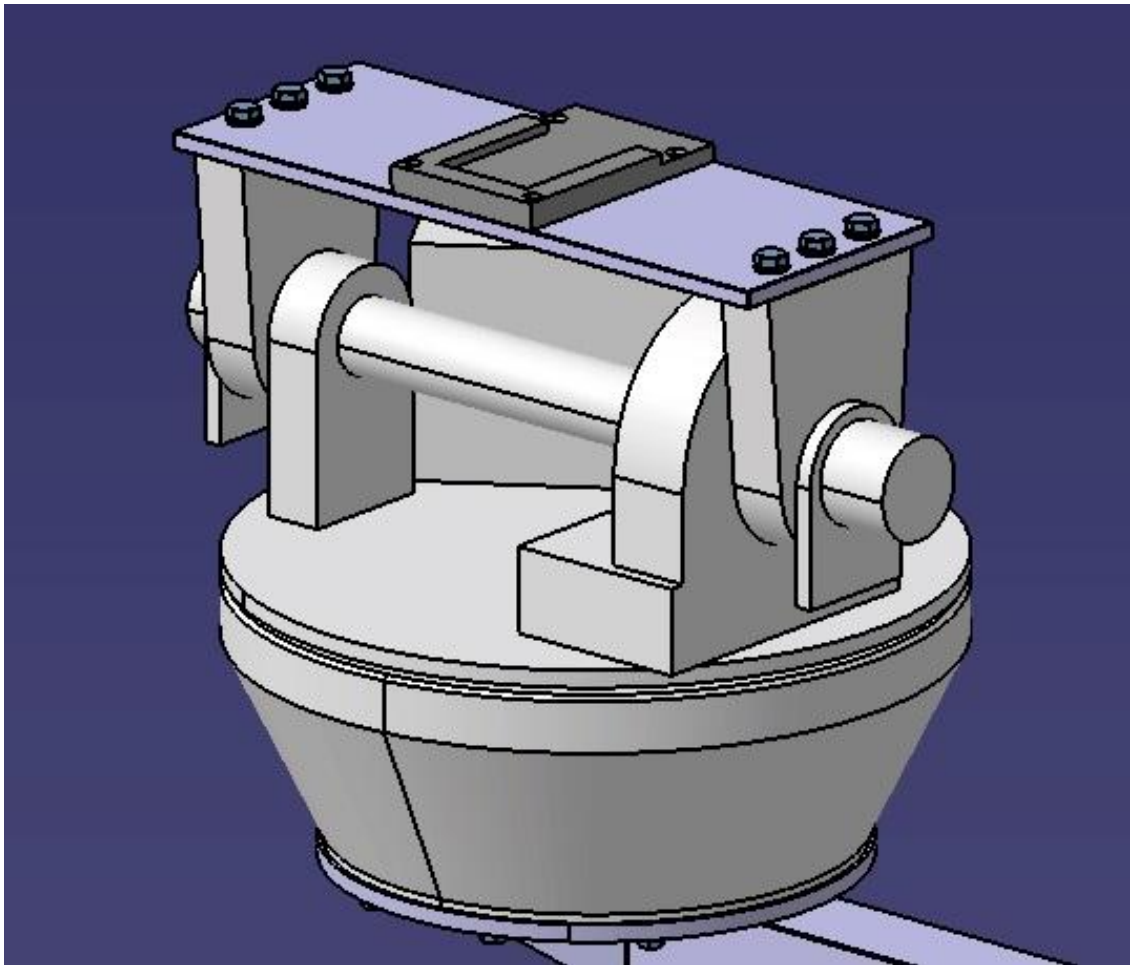


Kuva 6. Teleskooppimaston sijoitus.

Teleskooppimasto on täysin manuaalinen. Se venytetään löysäämällä ruuvit, jotka lukitsevat kitkalla maston teleskooppiosat toisiinsa. Kyseistä mastoa on saatavana paineilmalla toimivana kokonaisuutena, mutta sillä ei saada lisäarvoa tässä maston käyttötarkoituksessa.

## 2.6 Linkkien kiinnitys kääntömoottoreihin

Linkkien kiinnittämiseen käytetään Gigawaven pikakiinnikettä. Kiinnikettä käytetään useissa Gigawaven tuotteissa, ja se on vakiovaruste muun muassa Yleisradion käyttämissä linkkipakeissa, sekä langattomien kameroiden vastaanottimissa. Pikakiinnikkeiden vastakappaleita on saatavana erikseen. Vastakappaleen kiinnittäminen kääntömoottoreihin on varsin yksinkertaista. Kääntömoottoreissa oleviin korvakkeisiin tehdään sopiva alumiinilevy, johon kiinnitetään pikakiinnittimen runko (kuva 7).



Kuva 7. Kääntömoottoriin kiinnitetty sovitelevy sekä pikakiinnitin.

## 2.7 Ohjausyksikön valinta

Winter Maschinenbau tarjoaa kääntömoottoreilleen kahta erilaista ohjausyksikköä. Moilemmat ovat saman tyyppisiä yksiköitä. Laitteissa on pääosin samat ominaisuudet, mutta ne on tarkoitettu eri käyttöympäristöihin. Ohjausyksikkö on joko teollisuuden vaatimusten tai armeijakäytön vaatimusten mukainen. Armeijan käyttöön tarkoitettu laite kestää paremmin kosteutta ja vaativampia käyttöolosuhteita. (Subject to technical modifications 2011).

Valmistaja suositteli käyttämään tässä tapauksessa armeijan vaatimukset täyttävää PT-BED ohjausyksikköä (Winter 2015). Armeijan malliin on myös saatavana erillinen käsiohjain, joka on kaapelilla kytketty itse ohjausyksikköön. Käsiohjain on erittäin kätevä rakenteessa, jossa itse laite on suoraan maston alla. Auton vierestä on hyvin vaikea nähdä maston huippuun. Pitkän kaapelin päähän asennetun käsiohjaimen avulla on moottoreita kääntäessä mahdollista nähdä linkit paremmin.

## 2.8 Ohjausyksikön sijoitus

Ohjausyksikkö on sijoitettava paikkaan, josta sitä on helppo käyttää. Sitä operoidessa on myös nähtävä, mitä mastossa tapahtuu. Ohjausyksikkö kestää valmistajan mukaan hyvin kosteutta, mutta sen tulisi kuitenkin olla vesiroiskeilta suojassa.

Mastoauton helmassa on useita laatikoita, joista osaan on sijoitettu hydrauliventtiilipöytiä maston sekä tukijalkojen käyttöön ja osa on vain tavarán säilytystä varten. Auton sivuilla on kaksi tavarán säilytyskäytössä olevaa sopivan kokoista laatikkoa, johon ohjausyksikkö olisi mahdollista sijoittaa. Muita mahdollisia paikkoja ovat lavalla oleva isohko tavaratila, jossa ohjausyksikkö olisi paremmin suojassa, mutta vaikeasti operoitavissa.

Yksi auton sivuilla olevista laatikoista on melkein välittömästi auton hytin takana. Tähän laatikkoon on maston kaapelointi hankalampaa kuin taaemmalle laatikolle. Laatikon ollessa kaukana maston juuresta näkyvyys mastoon on kuitenkin parempi.

Toinen laatikoista on aivan maston juuren alla, jolloin kaapelien vedot mastoon ovat lyhyet. Laatikko on sen verran kookas, että vaikka ohjausyksikkö asennetaan sinne, siellä pystyy silti säilyttämään auton tukijalkojen alle asennettavia korokkeita, joita siellä on

tähänkin asti säilytetty. Laatikon sijainnin ollessa aivan maston alla, näkyvyys mastoon on huono, mutta johdon päässä olevalla käsiohjaimella voidaan päästä etäämmälle ohjausyksiköstä.

Ohjausyksikkö päätettiin sijoittaa maston juuren alla olevaan laatikkoon. Yksikössä on standardin DIN 41494 mukainen kiinnitys, eli se sopii niin sanottuun 19-tuuman räkkiin. Yksikkö on paras sijoittaa kaapin yläreunaan, jolloin kaapin loppuosa jää käyttöön tavaravaroitukseen.

19-tuuman räkkiin tarkoitetuille laitteille ei valitettavasti ole saatavana kattoon kiinnitettävää tarpeeksi jyvää kotelo. Tällainen on kuitenkin helppo suunnitella ja valmistaa, sillä standardin mukaisia erillisiä kiinnityskiskoja on saatavilla. Ohjausyksikölle suunnitellaan ruostumattomasta teräksestä taivuttamalla tehty, laatikon sisäpuolella katosta roikkuva kotelo, joka kannattelee ohjausyksikön koko painon. Kotelon sivuille niitataan standardin DIN 41494 mukaiset kiskot, joihin ohjausyksikkö saadaan kiinnitettyä etupaneelistaan. Kotelon piirustukset löytyvät liitteestä 6.

### 3 Laskelmat

Laskuissa pyritään selvittämään mahdolliset rasitusten ääritapaukset. Laskuihin on otettava mukaan tuuli-, lumi- sekä jääkuorman aiheuttamat lisärasitukset. Linkkien kääntömoottoreiden liikkeiden aiheuttamat kiihtyvyydet ovat mitättömän pieniä, joten niitä ei ole laskuissa huomioitu. Maston nosto ja venytys on niin hidasliikkeistä, että myös ne on jätetty laskuissa huomioimatta.

Kappaleissa 3.1 ja 3.2 on laskettu myöhemmissä tarkasteluissa tarvittut tuulikuorman ja lumi- sekä jääkuorman suuruudet. Kappaleessa 3.3 varmistetaan kääntömoottoreihin kohdistuvien rasitusten olevan valmistajan antamien rajojen sisällä. Kappaleet 3.4 ja 3.5 käsittelevät runkorakenteen lujuuslaskentaa sekä runkorakenteen hitsien mitoittamista.

#### 3.1 Tuulikuorma

Rakenteen käyttöolosuhteiden vuoksi täytyy sekä moottorien mitoituksien tarkastamisessa että rungon lujuuden tarkastamisessa tietää, millaisen rasituksen tuuli voi rakenteeseen aiheuttaa. Maston valmistaja antaa tuuliolosuhteista riippuvat rajat maston käytölle. Suurin sallittu tuulennopeus maston ollessa 40 m:n korkeudessa on 10 m/s ja vastaavasti alimmillaan, 12 m:n korkeudessa, sallitaan jopa 40 m/s tuulennopeus (Tuulidiagramma 1989). 40 m/s tuulennopeus on jo huomattavan kova myrskytuuli, joita suomen ilmasto-olosuhteissa tavataan hyvin harvoin (Tuuliennätyksiä 2016).

Tuulen aiheuttaman voiman laskemiseen löytyi kaksi erilaista tapaa. Ensimmäisessä tavassa käytetään virtaustekniikan kaavoja. Toinen tapa on Eurokoodi 5 lyhyen suunnitteluohteen mukainen menettely tuulen aiheuttaman voiman ratkaisemiseksi.

##### 3.1.1 Virtausopin mukainen menettely

Kappaleen ilmanvastukseen vaikuttaa eniten tuulennopeuden lisäksi sen muoto suhteessa tuulen suuntaan sekä tuulta vastaan kohtisuora pinta-ala. Myös ilman tiheydellä on vaikutusta ilmanvastukseen. Kappaleen pinta-ala sekä tuulennopeus ovat hyvinkin tarkasti mitattavia suureita. Kappaleen muodon vaikutus on sen sijaan vaikeammin to-

dettavissa. Virtaustekniikan oppaista löytyy kokeellisia vastuskertoimia erilaisille muodoille. Näiden yleisten muotojen avulla pystyy arvioimaan erilaisen muotojen vastuskertoimien suuruutta.

Peiliantennin vastuskertoimena käytetään puolikuppimaisen kappaleen vastuskerrointa. Suurin arvo vastuskertoimelle  $C_D$  kyseisellä kappaleella saadaan tuulen osuessa kohtisuorassa kupin koveraan osaan (Cengel & Cimbala 2010: 596). Laskussa käytetty tuulennopeus  $V$  on maston valmistajan ilmoittama maksimi tuulennopeus ( $40 \text{ m/s}^2$ ), jossa mastoa saa käyttää sen ollessaan lyhimmillään.

Peilin halkaisijan  $d$  ollessa  $0,63 \text{ m}$ , saadaan pinta-ala ratkaistua yhtälöstä

$$A = \frac{(\pi \cdot d^2)}{4} = \frac{(\pi \cdot (0,63 \text{ m})^2)}{4} = 0,312 \text{ m}^2 \quad (1)$$

Tuulen aiheuttama voima saadaan suoraan yhtälöstä

$$F_D = C_D A \frac{\rho V^2}{2}, \quad (2)$$

jossa  $C_D$  on vastuskerroin,  $\rho$  on ilman tiheys,  $V$  on maksimi tuulennopeus ja  $A$  on tuulta vasten kohtisuoran pinnan projektiopinta-ala.

$$C_D = 1,2$$

$$\rho = 1,269 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ (ilma @ } 5^\circ\text{C)}$$

$$V = 40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$A = 0,312 \text{ m}^2$$

Sijoitetaan arvot yhtälöön 2

$$F_D = 1,2 \cdot 0,312 \text{ m}^2 \frac{1,269 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \left(40 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} = 380,1 \text{ N}$$

Tuulen aiheuttamaksi voimaksi  $F_D$  saadaan n.  $380 \text{ N}$ .

### 3.1.2 Eurokoodi 5

Eurokoodi 5 antaa tuulikuorman laskemiseen yksinkertaistetun tavan. Tämä tapa on tarkoitettu lähinnä rakennuksiin kohdistuvien rasitusten laskemiseen, mutta sitä voi myös hyödyntää erillisten seinämien tyyppisissä konstruktioissa.

Yhtälöstä

$$F_{w,k} = c_f q_k(h) A_{ref}, \quad (3)$$

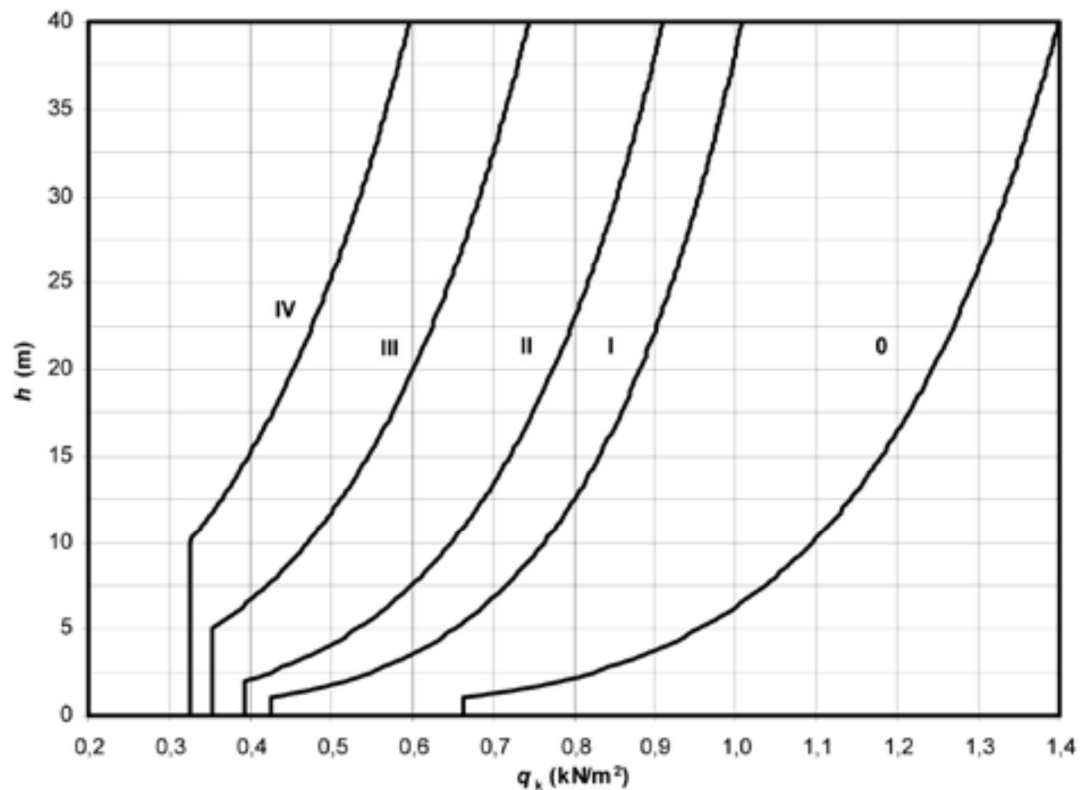
saadaan kokonaistuulikuorman resultantti  $F_{w,k}$  rakenteen korkeutta vastaavan nopeuspaineen ominaisarvon  $q_k(h)$  ( $\text{kN/m}^2$ ), voimakertoimen  $c_f$  sekä rakenteen tuulta vasten kohtisuoran projektiopinta-alan  $A_{ref}$  tulona. (Eurokoodi 5, 2009.)

Nopeuspaineen ominaisarvo  $q_k(h)$  saadaan valitsemalla aluksi taulukosta 1 olosuhdetta vastaava maastoluokka.

Taulukko 1. Maastoluokat (Eurokoodi 5, 2009).

Luokka	Maaston rosoisuuden ja pinnanmuodon kuvaus.
0	Avomeri tai merelle avoin rannikko.
I	Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä.
II	Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta ja erillisiä puita tai rakennuksia, joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus. Esim. maatalousmaa.
III	Esikaupunki- tai teollisuusalueet sekä metsät. Matalat pientaloalueet ja kylät.
IV	Yhtenäiset laajat kaupunkialueet, joiden pinta-alasta vähintään 15 % on rakennettu ja rakennusten keskimääräinen korkeus on yli 15 m.

Kuvasta 8 valitaan taulukon 1 maastoluokkaa vastaava käyrä ja tämän avulla saadaan rakenteen korkeutta  $h$  (m) vastaava nopeuspaineen ominaisarvo  $q_k$  (kN/m<sup>2</sup>).



Kuva 8. Nopeuspaineen ominaisarvot  $q_k(h)$  eri maastoluokissa (Eurokoodi 5, 2009).

Tässä tapauksessa rakenteen ollessa liikutettava ja koska on mahdollista, että mastoautoa käytetään Suomessa merelle avoimella rannikolla, valitaan maastoluokaksi 0. Mastoauton korkeuden  $h$  ollessa maksimissaan 40 m, saadaan nopeuspaineen ominaisarvoksi  $q_k(h)$  1,4 kN/m<sup>2</sup>.

Voimakerroin  $c_f$  valitaan taulukon 2 mukaisesti.



Taulukko 2. Yksinkertaistetussa menettelyssä käytettäviä voimakertoimia  $c_f$  (Eurokoodi 5, 2009).

Kuvaus	$c_f$
Umpinainen rakennus yleensä	1,3
Pulpettikattoinen umpinainen rakennus tarkasteltaessa kattolapteen suuntaista tuulta, kun katon kaltevuus on $5^\circ \dots 40^\circ$ (toisessa suunnassa $c_f = 1,3$ )	1,5
Osittain avoin rakennus, kun tuulen puoleisella sivulla olevien aukkojen pinta-ala on enintään 30 % rakennuksen ulkoseinien kokonaispinta-alasta.	1,6
Erillinen seinämä	2,1

Linkkipeili käsitellään erillisenä seinämänä, jolloin voimakerroin  $c_f$  on 2,1. Tuulta vasten kohtisuora projektiopinta-ala  $A_{ref}$  on yhtä suuri kuin kappaleessa 3.1.1 yhtälöllä 1 laskettu pinta-ala  $A$ , joka on  $0,312 \text{ m}^2$ .

Sijoittamalla arvot yhtälöön 3, ratkaistaan linkkipeilien aiheuttama kokonaistuulikuorman resultantti  $F_{w,k}$ .

$$F_{w,k} = 2,1 \cdot 1,4 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,312 \text{ m}^2 = 0,917 \text{ kN}$$

Eurokoodi 5 lyhyen suunnitteluohjeen mukaan kokonaistuulikuorman resultantiksi  $F_{w,k}$  saadaan n. 920 N.

### 3.1.3 Laskentatapojen vertailu

Laskentatavat antoivat toisistaan hyvin poikkeavat tuloksen. Eurokoodi 5:n antama tulos 920 N on yli kaksinkertainen virtaustekniikan kaavojen mukaan laskettuun arvoon 380 N. Toisaalta, Eurokoodi 5:n mukaan lasketussa arvossa on mukana varmuuskerroin, mikä osaltaan selittää tulosten poikkeavuuden. Virtaustekniikan kaavojen mukainen tulos antaa tuulen laskennallisen suuruuden ilman varmuuskerrointa.

Lujuuslaskelmissa päätettiin käyttää laskennallisesti suurempaa tulosta, eli eurokoodi 5:n mukaista, voimaa  $F_{w,k}$ , joka on n. 920 N.

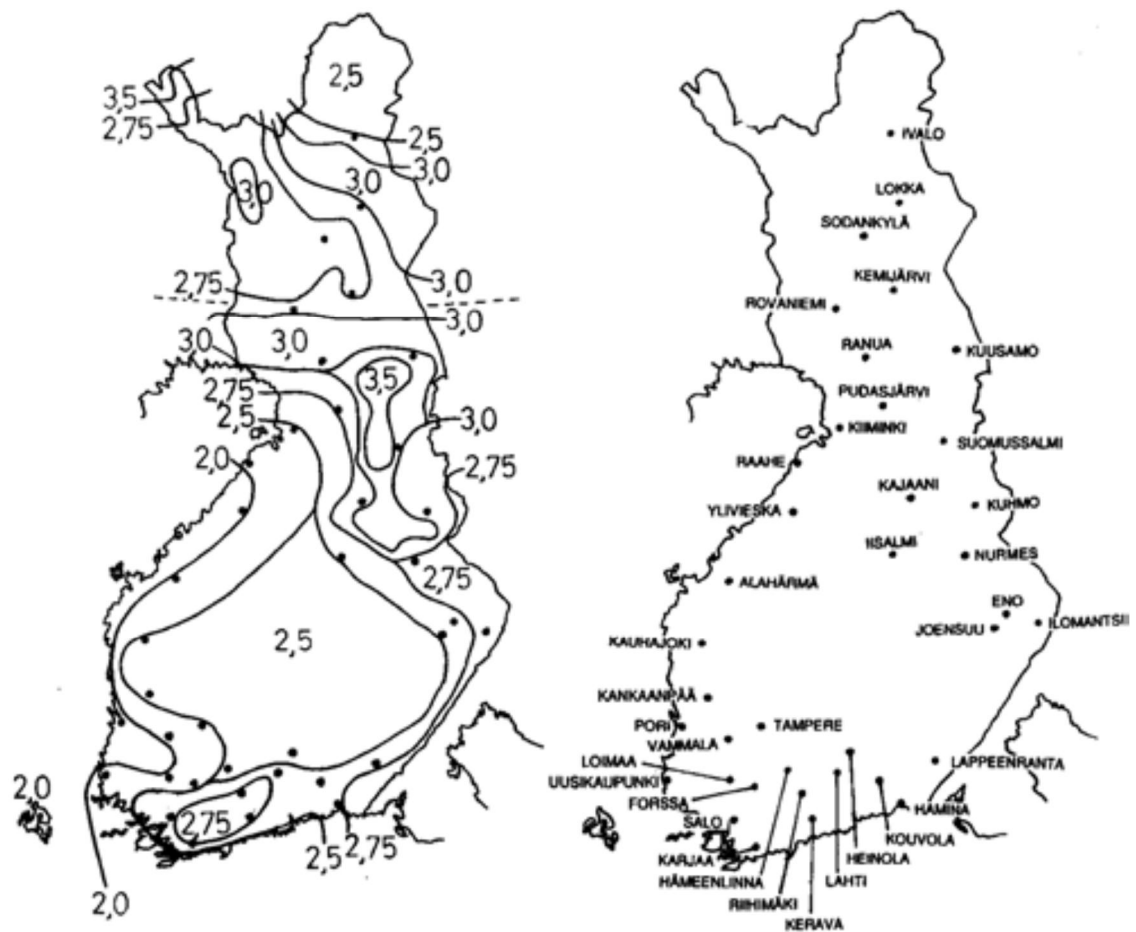
### 3.2 Lumikuorma

Lumikuorma lasketaan Eurokoodi 5 lyhyen suunnitteluohjeen mukaisesti. Lumikuormalla tarkoitetaan linkkipaketin päälle mahdollisesti kertyvän lumen ja jään massan aiheuttamaa voimaa.

Yhtälöstä

$$q_k = \mu_i \cdot s_k \quad (4)$$

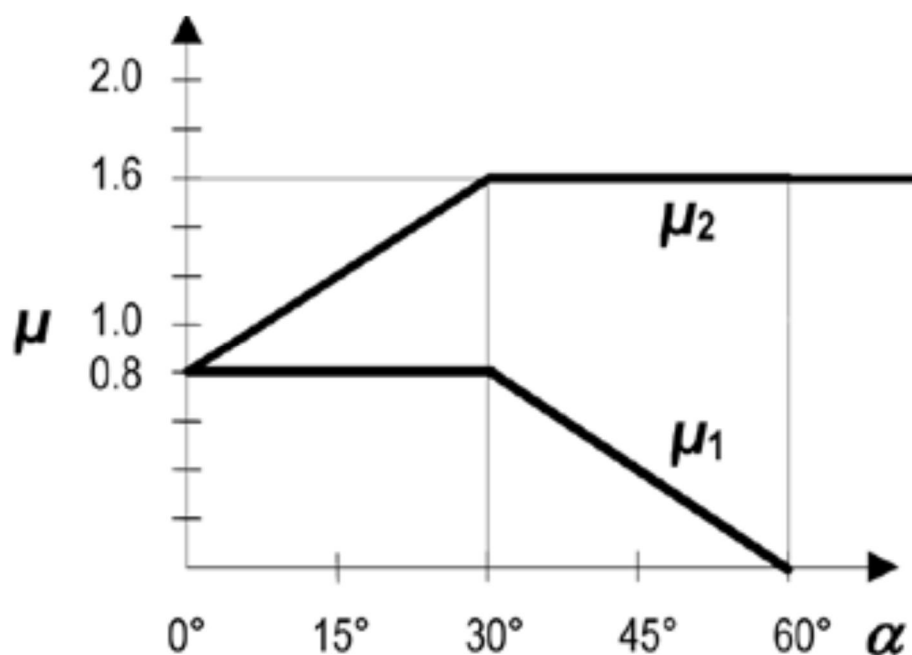
saadaan lumikuorman ominaisarvo  $q_k$  kertomalla kuvassa 9 esitetty maanpinnan lumikuorman ominaisarvo  $s_k$  kuvan 10 mukaan määritetyllä muotokertoimella  $\mu_i$ .



Kuva 9. Maanpinnan lumikuorman ominaisarvot  $s_k$  (Eurokoodi 5, 2009).

Maanpinnan lumikuorman ominaisarvoksi  $s_k$  valitaan suomen olosuhteissa suurin arvo 3,5. Kyseinen arvo löytyy Oulun korkeudelta, läheltä Kuusamo.

Kuvassa 10 on esitetty lumikuorman muotokerroin  $\mu$  pinnan kallistuskulman funktiona. Kuvan mukaiset arvot on tarkoitettu kattorakenteiden lumikuormien mitoittamiseen, mutta niitä voidaan soveltaa myös tämän tyyppisissä rakenteissa. Käyrää  $\mu_2$  käytetään katoille, joissa on lumen liukuesteet ja vastaavasti  $\mu_1$  on katoille, joista lumi pääsee vapaasti liukumaan. X-akselilla oleva arvo  $\alpha$  on katon kaltevuuskulma. Linkkipaketin yläpinta on tasainen, joten valitaan käyrää  $\mu_1$  vastaava arvo  $\mu_i$  kohdassa  $0^\circ$ .



Kuva 10. Lumikuorman muotokertoimet (Eurokoodi 5, 2009).

Saadut arvot ovat

$$\mu_i = 0,8$$

$$s_k = 3,5 \text{ kN/m}^2$$

Sijoitetaan arvot yhtälöön 4

$$q_k = 0,8 \cdot 3,5 \text{ kN/m}^2 = 2,8 \text{ kN/m}^2$$

Lumikuorman arvo  $Q_k$  saadaan yhtälöstä

$$Q_k = q_k \cdot A, \quad (5)$$

jossa lumikuorman ominaisarvo  $q_k$  kerrotaan kuormaa vastaavalla pinta-alalla  $A$ . Pinta-alana  $A$  käytetään linkkipaketin yläpuolista projektiopinta-alaa. Kyseinen arvo saadaan 3D-mallista.

$$A = 0,16 \text{ m}^2$$

$$q_k = 2,8 \text{ kN/m}^2$$

Sijoitetaan arvot yhtälöön 5

$$Q_k = 2,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,16 \text{ m}^2 = 0,448 \text{ kN}$$

Lumikuorman aiheuttama voima on n. 450 N.

### 3.3 Moottoreiden rasituksien tarkistus

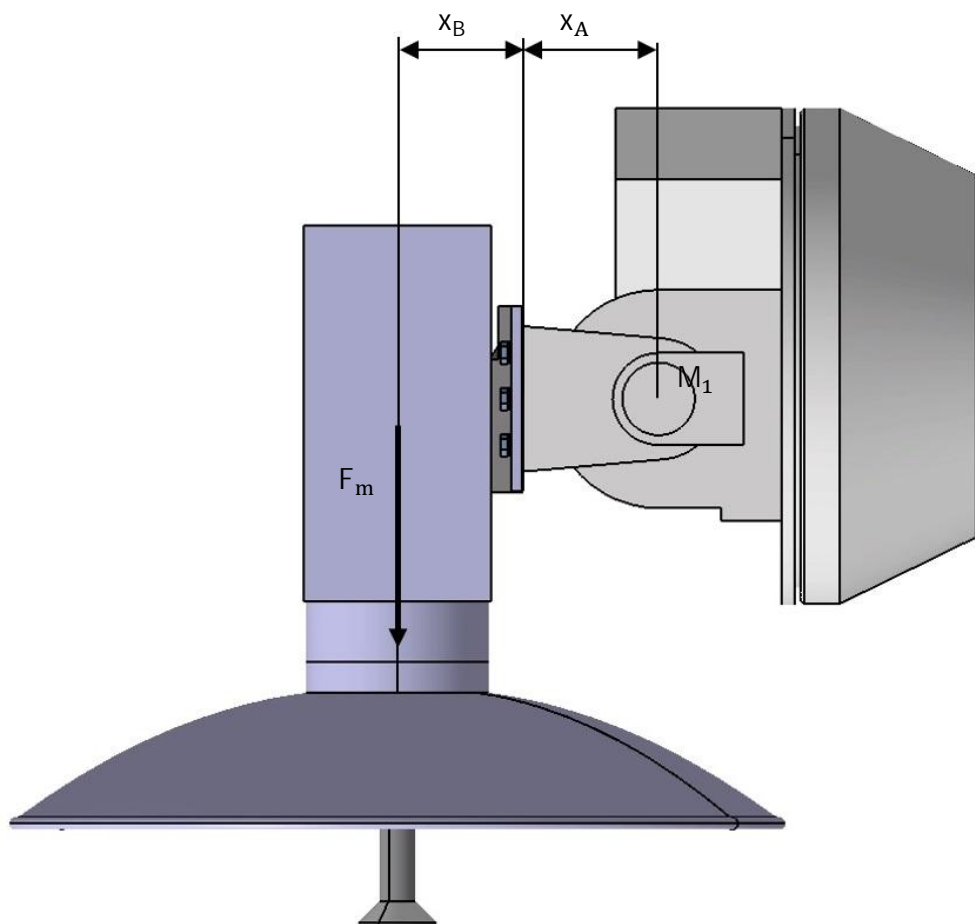
Kääntömoottoreihin aiheutuvien kuormien tarkistuksessa käytetään kahta erilaista staattista ääritilannetta. Tarkastelut keskittyvät korkeus akselin rasituksiin, sillä azimuutti- eli moottorin vaakasuuntaiseen akseliin kohdistuvat rasitukset ovat tässä kohtaa merkityksettömiä.

Tarkastelussa 1 masto on kuljetusasennossa (vaakatasossa). Laskussa täytyy ottaa huomioon mahdollinen jää- ja lumikuorma. Tarkastelussa 2 masto on pystyssä, jolloin suurin korkeusakseliin kohdistuva voima aiheutuu tuulesta.

Valmistajan ilmoittama suurin sallittu momentti  $M_{\text{sall}}$  moottorin AR/AE 1064 korkeusuuntaiselle akselille on n. 600 Nm (liite 1). Laskuissa käytettävät massat on mitattu ja tulokset on pyöristetty ylöspäin.

### 3.3.1 Tarkastelu 1: masto vaakatasossa

Maston ollessa kuljetusasennossa korkeussuuntaiseen akseliin kohdistuu rasisusta linkin massasta. Moottorin kääntönopeus on niin hidas, että sen aiheuttamia kiihtyvyyksiä ei oteta huomioon. Momentti  $M_1$  saadaan ratkaistua voiman  $F_m$  ja etäisyyden  $x_1$  tulona. Etäisyys  $x_1$  on linkin pohjan ja akselin välisen etäisyyden  $x_A$  ja linkin painopisteen korkeuden  $x_B$  summa. (kuva 11.)



Kuva 11. Havainnekuva moottorin akseliin kohdistuvasta momentista.

$$x_A = 0,128 \text{ m}$$

$$x_B = 0,1 \text{ m}$$

Etäisyys  $x_1$  saadaan yhtälöstä

$$x_1 = x_A + x_B = 0,128 \text{ m} + 0,1 \text{ m} = 0,228 \text{ m}$$

(6)

Linkin massan aiheuttama voima saadaan yhtälöstä

$$F_m = m \cdot g, \quad (7)$$

jossa  $m$  on linkin massa.

$$m = 20 \text{ kg}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Sijoittamalla arvot yhtälöön 6 saadaan:

$$F_m = 20 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 196,2 \text{ N}$$

Linkin massan aiheuttamaan voimaan täytyy lisätä lumikuorman aiheuttama voima  $F_{lk} = 450 \text{ N}$ , jolloin kokonaisvoima  $F_{kok}$  saadaan yhtälöstä

$$F_{kok} = F_m + F_{lk} = 196 \text{ N} + 450 \text{ N} = 646 \text{ N} \quad (8)$$

Elevaatioakseliin kohdistuva momentti saadaan yhtälöstä

$$M_1 = F_{kok} \cdot x_1, \quad (9)$$

jossa linkin painopisteen ja korkeusakselin välinen etäisyys  $x_1$  toimii voiman  $F_{kok}$  vipuvartena. Sijoittamalla arvot yhtälöön 9 saadaan

$$M_1 = 646 \text{ N} \cdot 0,228 \text{ m} = 147,3 \text{ Nm}$$

$$M_{sall} = 600 \text{ Nm}$$

$$M_1 < M_{sall}$$

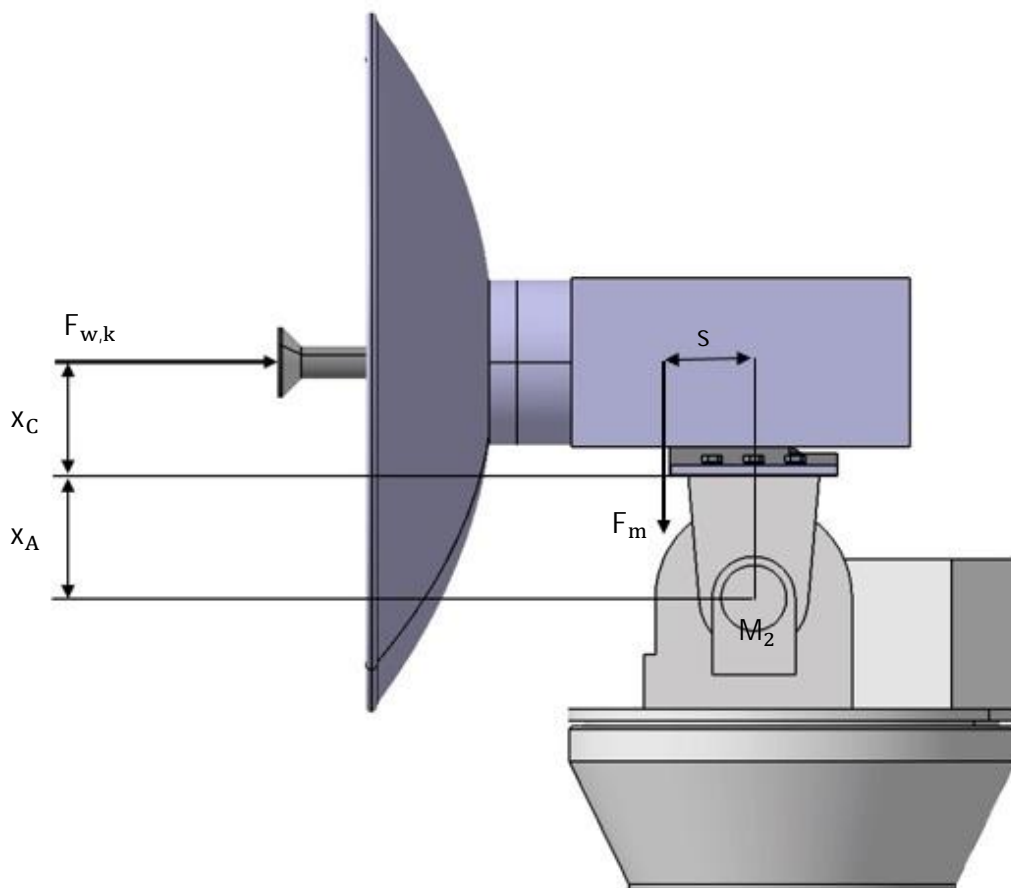
Moottorin elevaatioakselille sallittu momentti on n. 4 kertaa suurempi kuin akselille laskennallisesti kohdistuva momentti.

### 3.3.2 Tarkastelu 2: masto pystyasennossa

Maston ollessa pystyasennossa akselille kohdistuu rasiutusta tuulikuormasta. Myöskään tässä tapauksessa ei kääntämisen aiheuttamia kiihtyvyyksiä oteta huomioon. Linkin massakeskipisteen ollessa moottorin akselin etupuolella (kuva 12) aiheuttaa voima  $F_m$  etäisyydellä  $s$  tuulen aiheuttamalle voimalle vastakkaisen momentin, joka pienentää tuulen aiheuttamaa momenttia. Linkin massan aiheuttamaa momentin pienennystä ei oteta huomioon.

Kokonaistuulikuorman resultantin  $F_{w,k}$  vaikutussuoran ja elevaatioakselin etäisyys  $x_2$  saadaan yhtälöstä

$$x_2 = x_A + x_C \quad (10)$$



Kuva 12. Havainnekuva tuulen akseliin kohdistamasta momentista  $M_2$ .

$$x_A = 0,128 \text{ m}$$

$$x_C = 0,08 \text{ m}$$

$x_C$  on 0,02 m matalampi kuin  $x_B$ , sillä peiliantennin pinta-ala keskipiste ei ole linjassa linkkipakin painopisteen korkeuden kanssa.

Sijoittamalla arvot yhtälöön 10 saadaan

$$x_2 = 0,128 \text{ m} + 0,08 \text{ m} = 0,208 \text{ m}$$

Tuulikuorman akseliin kohdistama momentti saadaan yhtälöstä

$$M_2 = F_{w,k} \cdot x_2 \quad (11)$$

$$F_{w,k} = 920 \text{ N}$$

Sijoittamalla arvot yhtälöön 11 saadaan

$$M_2 = 920 \text{ N} \cdot 0,208 \text{ m} = 191,36 \text{ Nm}$$

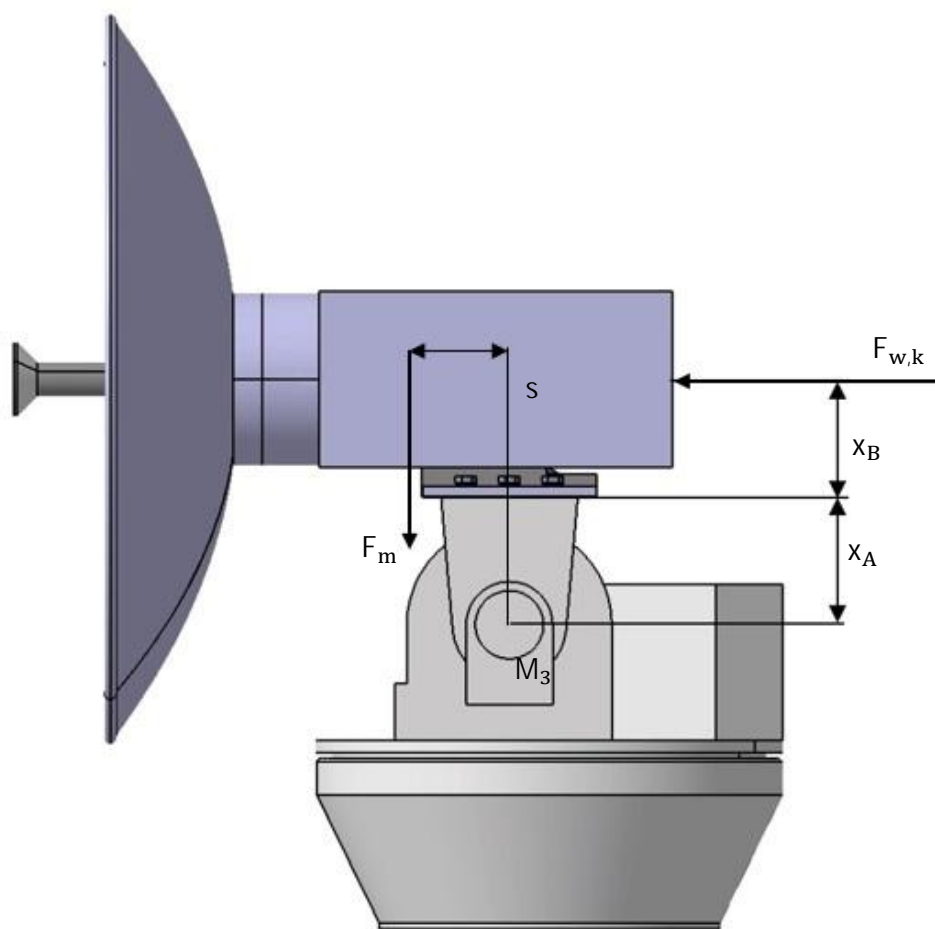
$$M_{\text{sall}} = 600 \text{ Nm}$$

$$M_2 < M_{\text{sall}}$$

Akselille sallittu momentti on noin kolme kertaa suurempi kuin kohdassa 3.3.2 laskettu tuulikuorman aiheuttama momentti. Tuulikuorma aiheuttaa akselin enemmän vääntöä, kuin tarkastelussa 1 laskettu linkin massa. Todellinen akseliin kohdistuva momentti on tätä pienempi, mikäli linkin massan aiheuttama vastamomentti otetaan huomioon. Varmuuskerroin 3 on tässä tapauksessa riittävä.

Tuulen osuessa linkkiin sen takapuolelta tuulen aiheuttama voima ei ole niin suuri kuin edestäpäin johtuen pienemmästä tuulen vastuskertoimesta. Kääntömoottorin akseliin kohdistuvaa momenttia lisää kuitenkin linkin oma massa. Tämän vuoksi tarkistetaan mikä on akseliin kohdistuva momentti voimien  $F_{w,k}$  ja  $F_m$  yhteisvaikutuksesta (kuva 13).





Kuva 13. Havainnekuva tuulen akseliin kohdistamasta momentista  $M_3$ .

$$x_1 = 0,228 \text{ m}$$

$$s = 0,15 \text{ m}$$

$$F_m = 196 \text{ N}$$

$$F_{w,k} = 920 \text{ N}$$

Voiman  $F_{w,k}$  aiheuttama momentti  $M_2$  on 190 Nm.

Momentti  $M_3$  saadaan yhtälöstä

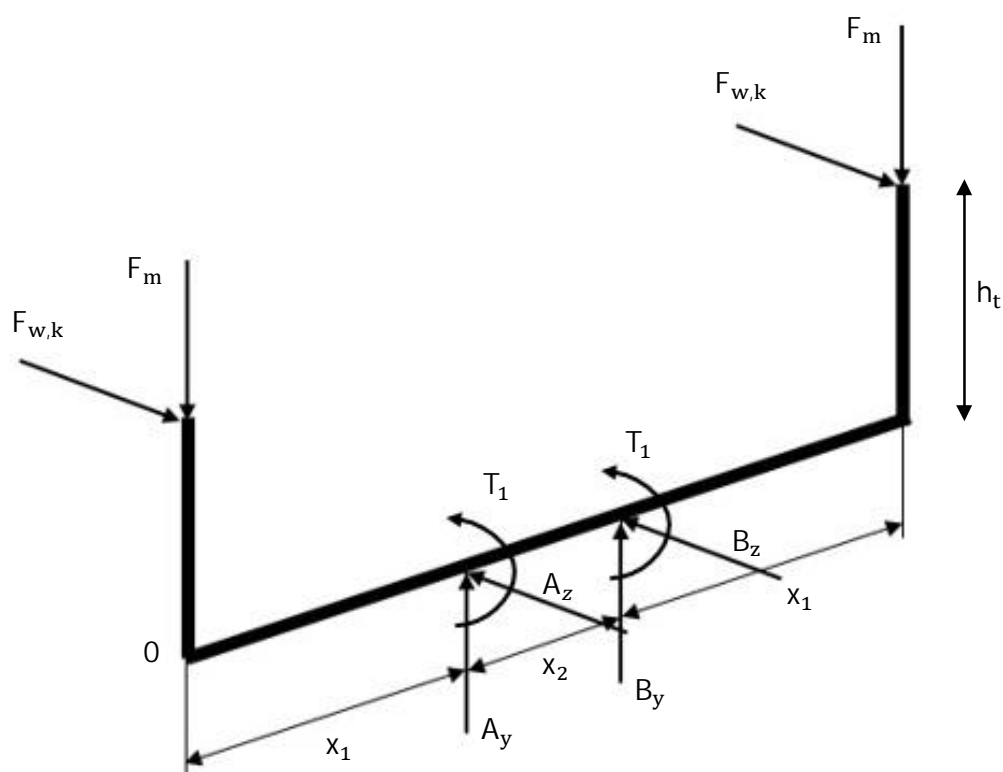
$$M_3 = M_2 + F_m \cdot s = 190 \text{ Nm} + 196 \text{ N} \cdot 0,15 \text{ m} = 190 \text{ Nm} + 29,4 \text{ Nm} = 219,4 \text{ Nm}$$

Voimien yhteisvaikutuksen aiheuttama momentti  $M_3 = 219 \text{ Nm}$ , joten linkin massan vaikutus on hyvin pieni.

### 3.4 Rungon lujuuslaskenta

#### 3.4.1 Kuormitustilanne 1: masto pystyssä

Tässä tarkastelussa masto on pystyasennossa. Runkopalkkiin kohdistuvat rasitukset aiheutuvat moottorin ja linkin massojen aiheuttamasta taivutuksesta sekä linkkipeiliin kohdistuvan tuulen aiheuttamasta taivutuksesta ja väännöstä. Kuvassa 14 on esitetty vapaakappalekuva rungon poikkitankoon kohdistuvista voimista.



Kuva 14. Rungon putkipalkin vapaakappalekuva.

Ensin ratkaistaan runkopalkkiin kohdistuva vääntöjännitys  $\tau_{v,max}$ . Vääntömomentti  $T_1$  muodostuu poikkiputkeen kokonaistuulikuorman resultanttivoiman,  $F_{w,k}$ , ja sen putken keskiviivaa kohtisuoran etäisyyden aiheuttavan momentin avulla. Momentti  $T_1$  saadaan ratkaistua yhtälöstä

$$T_1 = F_{w,k} \cdot h_t, \quad (12)$$

jossa  $F_{w,k}$  on kappaleessa 3.1 laskettu kokonaistuulikuorman resultantti ja  $h_t$  on  $F_{w,k}$ :n vaikutussuoran etäisyys runkopalkin keskipisteestä.

Kokonaistuulikuorman vaikutussuoran etäisyys runkopalkin keskipisteestä saadaan yhtälöstä

$$h_t = x_m + x_A + x_C + \frac{h}{2} \quad (13)$$

jossa  $x_m$  on moottorin elevaatioakselin ja moottorin pohjan välinen etäisyys,  $x_A$  on elevaatioakselin ja linkin kiinnikkeen välinen etäisyys,  $x_C$  on linkin pohjan ja  $F_{w,k}$ :n vaikutussuoran välinen etäisyys.  $h$  on runkopalkin korkeus.

$$x_m = 0,280 \text{ m}$$

$$x_A = 0,128 \text{ m}$$

$$x_C = 0,08 \text{ m}$$

$$h = 0,06 \text{ m}$$

Sijoittamalla arvot yhtälöön 13 saadaan

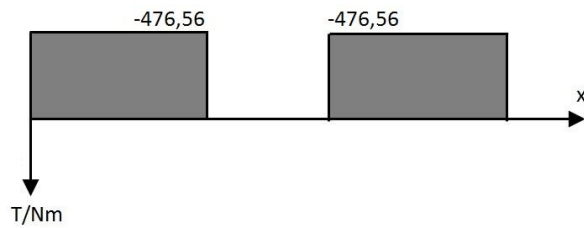
$$h_t = (0,280 + 0,128 + 0,08 + 0,03) \text{ m} = 0,518 \text{ m}$$

Sijoittamalla arvot yhtälöön 12, saadaan

$$T_1 = 920 \text{ N} \cdot 0,518 \text{ m} = 476,56 \text{ Nm}$$

$$T_1 \approx 477 \text{ Nm}$$

Muodostetaan vääntömomenttikuvio (kuva 15).



Kuva 15. Vääntömomenttikuvio.

Ohutseinäisen putken maksimi vääntöjännitys saadaan yhtälöstä

$$\tau_{v,max} = \frac{T}{W_v} \quad (14)$$

$W_v$  on runkoputken vääntövastus, joka saadaan ratkaistua yhtälöstä

$$W_v = 2 \cdot A \cdot t_{min}, \quad (15)$$

jossa  $A$  on putken seinämän keskiviivan sisään jäävä pinta-ala ja  $t_{min}$  on seinämän paksuus sen ohuimmassa kohdassa. Valitaan alustavasti putki, jonka korkeus  $h$  ja leveys  $b$  ovat 60 mm ja seinämän paksuus,  $t$  on 3 mm.

Pinta-ala  $A$  saadaan yhtälöstä

$$A = (h - t) \cdot (b - t) = (60 - 3)\text{mm} \cdot (60 - 3)\text{mm} = 3\,249\text{ mm}^2 \quad (16)$$

Yhdistämällä yhtälöt 13 ja 14 saadaan ratkaistua  $\tau_{v,max}$ .

$$\tau_{v,max} = \frac{T_1}{2 \cdot A \cdot t_{min}} = \frac{477\text{ Nm}}{2 \cdot 3\,249 \cdot 10^{-3}\text{ m}^2 \cdot 3 \cdot 10^{-3}\text{ m}} = 24,47\text{ MPa} \quad (17)$$

$$\tau_{v,max} \approx 25\text{ MPa}$$

Kääntömoottorin, linkin ja lumikuorman massojen aiheuttama voima,  $F_m$  aiheuttaa runkopalkkiin taivutusjännityksen  $\sigma_{t1}$ .

Kääntömoottorin massa  $m_m$  on 50 kg ja linkkipaketin massa  $m$  on 20 kg. Kappaleessa 3.2 laskettu lumikuorman aiheuttama voima  $Q_k$  on 450 N.

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F = (m_m + m)g + Q_k = (50 + 20) \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 + 450 \text{ N} = 1136,7 \text{ N} \quad (18)$$

$$F = 1137 \text{ N}$$

$$x_1 = 0,345 \text{ m}$$

$$x_2 = 0,310 \text{ m}$$

Tasapainoyhtälöt

$$\sum F_x = 0 \quad (19)$$

$$\sum F_y = 2 \cdot F + A_y + B_y = 0 \quad (20)$$

$$M_0 = (A_y \cdot x_1) + (B_y(x_1 + x_2)) - (F_m(x_1 + x_1 + x_2)) = 0 \text{ Nm} \quad (21)$$

Rasitusten määrittämistä varten kirjoitetaan kohdasta  $x$  katkaistun palkin (kuva 16) vasemmalle puoliskolle tasapainoyhtälöt.

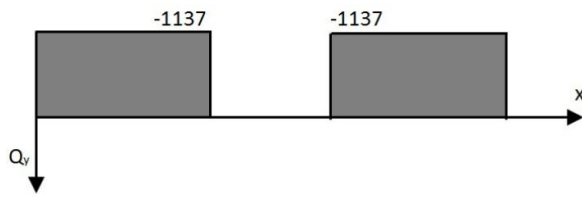


Kuva 16. Palkin vasemmalle puolelle kohdistuvat rasitukset.

$$M_y(0,345 \text{ m}) = -F \cdot x_1 = -1137 \text{ N} \cdot 0,345 \text{ m} = -392,27 \text{ Nm} \quad (22)$$

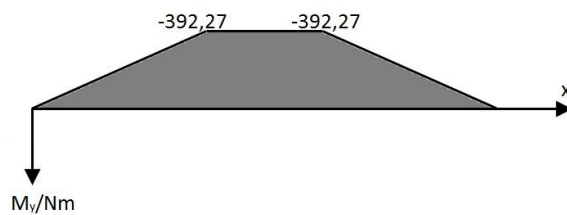
$$Q_y(0,345 \text{ m}) = -F = -1137 \text{ N} \quad (23)$$

Piirretään leikkausvoimakuvio (kuva 17).



Kuva 17. Leikkausvoimakuvio  $Q_y$ .

Momenttikuvio (kuva 18) saadaan käyttämällä pinta-ala yhteyttä ja reunaehtoa  $M_0 = 0$ .



Kuva 18. Momenttikuvio  $M_y$ .

Maksimi taivutusjännitys on kohdassa  $x(0,345 \text{ m})$  palkin ulkoreunassa. Taivutusjännitys voidaan laskea yhtälöstä

$$\sigma_t = \frac{M}{I}y \quad (24)$$

Runkopalkin poikkipinnan ollessa symmetrinen, poikkipinnan reunajännitykset voidaan laskea käyttämällä taivutusvastusta  $W$ , jolloin yhtälö 24 asettuu muotoon (Karhunen ym. 1992)

$$\sigma_t = \frac{M}{W} \quad (25)$$

Neliömäiselle 60 mm leveälle 4 mm seinämäiselle putkipalkille taivutusvastus  $W$  on  $11,71 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$  (SSAB 2016).

$$\sigma_{t1} = \frac{M}{W} = \frac{392,27 \text{ Nm}}{11,71 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = 33,5 \text{ MPa} \quad (25)$$

Kokonaistuulikuorman resultantti  $F_{w,k}$  aiheuttaa taivutusjännityksen  $\sigma_{t2}$ .

$$F_{w,k} = 920 \text{ N}$$

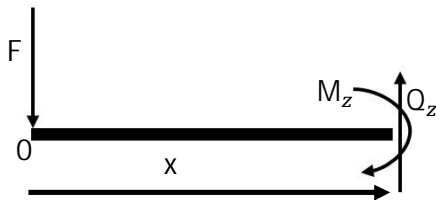
Tasapainoyhtälöt:

$$\sum F_x = 0 \quad (19)$$

$$\sum F_z = 2 \cdot F_{w,k} + A_z + B_z = 0 \quad (26)$$

$$M_{z_0} = (A_z \cdot x_1) + (B_z(x_1 + x_2)) - (F_{w,k}(x_1 + x_1 + x_2)) = 0 \text{ Nm} \quad (27)$$

Muodostetaan tasapainoyhtälöt kohdasta x katkaistun palkin (kuva 19) vasemmalle puolelle.

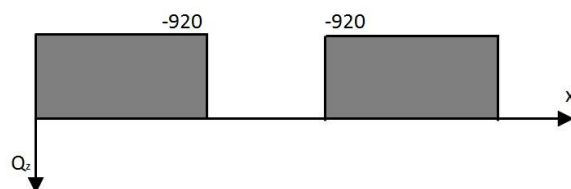


Kuva 19. Palkin vasemmalle puolelle kohdistuvat rasitukset.

$$M_z(0,345 \text{ m}) = F_{w,k} \cdot x_1 = 920 \text{ N} \cdot 0,345 \text{ m} = 317,4 \text{ Nm} \quad (28)$$

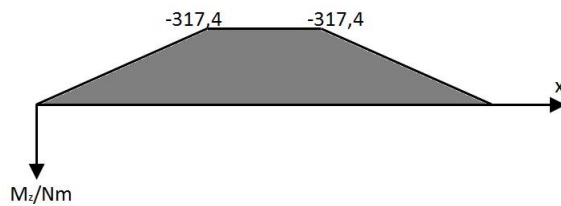
$$Q_z(0,345 \text{ m}) = F_{w,k} = 920 \text{ N} \quad (29)$$

Piirretään leikkausvoimakuvio (kuva 20).



Kuva 20. Leikkausvoimakuvio  $Q_z$ .

Momenttikuvio (kuva 21) saadaan käyttämällä pinta-ala yhteyttä ja reunaehto  $M_0 = 0$ .



Kuva 21. Momenttikuvio  $M_z$ .

Maksimi taivutusjännitys on kohdassa  $x(0,345 \text{ m})$  palkin ulkoreunassa.  $\sigma_{t2}$  lasketaan yhtälöstä.

$$\sigma_{t2} = \frac{M}{W} = \frac{317,4 \text{ Nm}}{11,71 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = 27,11 \text{ MPa} \quad (25)$$

Taivutusten yhdistetty jännitys  $\sigma$  on jännitysten  $\sigma_{t1}$  ja  $\sigma_{t2}$  summa. Suurin jännitys muodostuu runkopalkin kulmiin.

$$\sigma = \sigma_{t1} + \sigma_{t2} = (33,5 + 27,11) \text{ MPa} = 60,61 \text{ MPa} \quad (30)$$

Kun yhdistettävänä jännityksinä ovat samaan pisteeseen vaikuttavat  $\sigma$  ja  $\tau$ , eli niin sanottu vääntötaivutustila, voidaan jännitykset yhdistää von Misesin menetelmällä. Von Misesin jännitys lasketaan kaavalla

$$\sigma_{\text{vert}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \left( \sqrt{60,61^2 + 3 \cdot 25^2} \right) \text{ MPa} = 74,49 \text{ MPa} \quad (31)$$

Vertailujännitystä verrataan vetomurtolujuuteen. (Karhunen ym. 1992.)

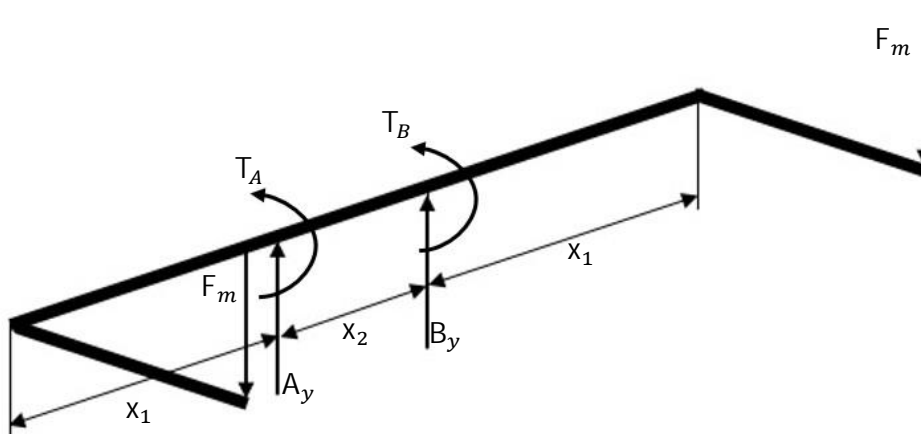
Murtolujuus palkin materiaalina käytettävälle rakenneteräkselle S355J2H on 355 MPa (SSAB 2016).

Vertailujännityksen ollessa n. 75 MPa rakenteen varmuuskerroin on yli 5. Todetaan, että alussa valitun palkin lujuus on riittävä.



### 3.4.2 Kuormitus tilanne 2: masto vaakatasossa

Tässä tarkastelussa masto on kuljetusasennossa, eli vaakatasossa. Runkopalkkiin aiheutuu taivutusta ja vääntöä linkkipaketin, moottorin sekä lumikuorman massasta. Kaikki kuormat ovat samansuuntaisia. (Kuva 22.)



Kuva 22. Rungon putkipalkin vapaakappalekuva.

Ratkaistaan aluksi vääntöjännitys. Massojen runkoputkeen aiheuttaman momentin laskemiseksi tarvitaan runkoputken keskipisteestä etäisyydet linkin painopisteeseen  $x_{lpp}$ , moottorin painopisteeseen  $x_{mpp}$  sekä mahdolliseen lumikuormaan,  $x_{Qpp}$ . Lumikuorman painopiste määritetään tässä tapauksessa linkin päälle.

$$x_{lpp} = 0,518 \text{ m}$$

$$x_{mpp} = 0,165 \text{ m}$$

$$x_{Qpp} = 0,59 \text{ m}$$

$$m = 20 \text{ kg}$$

$$m_m = 50 \text{ kg}$$

$$Q_k = 450 \text{ N}$$

$$F = 1137 \text{ N}$$

Lasketaan massojen aiheuttamat vääntömomentit yhteen.

$$T_2 = (Q_k \cdot x_{Qpp}) + (m_{\text{linkki}} \cdot g \cdot x_{lpp}) + (m_{\text{moottori}} \cdot g \cdot x_{mpp}) \quad (32)$$

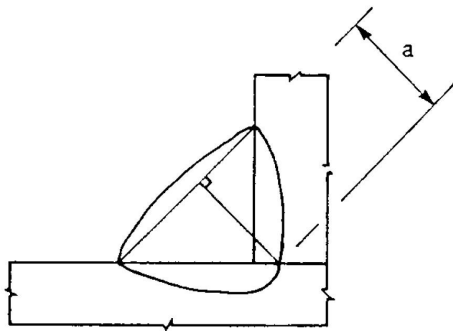
$$T_2 = (450 \text{ N} \cdot 0,590 \text{ m}) + (20 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,518 \text{ m}) + (50 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,165 \text{ m}) = 448,1 \text{ Nm}$$

Koska  $T_2 < T_1$ , myös vääntöjännitys on pienempi kuin kuormitustilanteessa 1. Taivutusjännityksiä on vain yksi ja taivutusta aiheuttava voima on yhtä suuri kuormitustilanteeseen 1 verrattuna, jolloin kokonaistaivutusjännitys on huomattavasti pienempi.

Kuormitustyyppin ollessa kuormien suuntia lukuun ottamatta sama kuin kuormitustilanteessa 1, kokonaisjännitys on myös pienempi. Tarvetta perusteellisemmalle laskennalle ei ole, koska kuormitustilanne 2 aiheuttaa palkkiin vähemmän rasitusta.

### 3.5 Hitsaussaumojen mitoitus

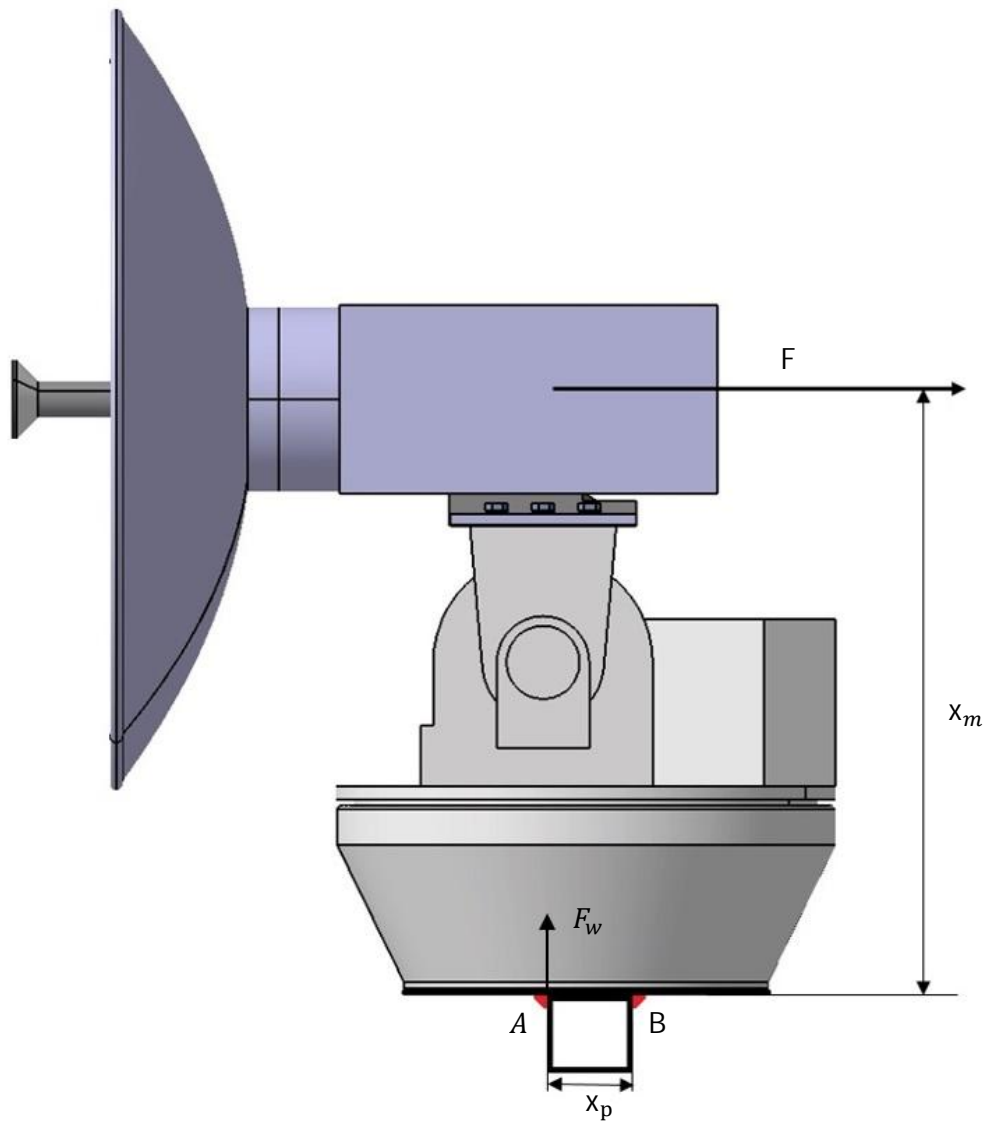
Moottoreiden kiinnityslevyjen ja poikkiputken välisen pienahitsin mitoitus tehdään Eurokoodi 3:n SFS-EN 1993-1-8:n mukaisesti. Pienahitsin mitoituslaskelmissa käytetään tehollista a-mittaa. Pienahitsin tehollinen a-mitta tarkoittaa suurimman kolmion korkeutta, joka voidaan piirtää kohtisuorassa suunnassa railon kylkien ja hitsin pinnan sisään (kuva 23). (Airila ym. 2003.)



Kuva 23. Pienahitsin efektiivinen (tehollinen) a-mitta (Airila ym. 2003)

### 3.5.1 Kääntömoottorien kiinnikkeen ja palkin välinen hitsi

Kääntömoottoreiden kiinnikelevy hitsataan pienahitseilla kiinni runkoputkeen. Hitsaus-  
saumaan kohdistaa rasi-  
tusta kappaleessa 3.1 laskettu tuulen aiheuttama voima,  $F_{w,k}$   
(kuva 24). Voima  $F_{w,k}$  pyrkii repimään moottorin kiinnikelevyn kiinnitys hitsiä etäisyydellä  $x_m$ . Tukipisteen ollessa kohdassa B, hitsaus-  
saumaan A aiheutuu voima etäisyydellä  $x_p$ .



Kuva 24. Havainnekuva hitsien rasituksista.

$$x_m = 0,488 \text{ m}$$

$$x_p = 0,06 \text{ m}$$

$$F_{w,k} = 920 \text{ N}$$

Momenttiyhtälö pisteessä B

$$M_B = F_{w,k} \cdot x_m - F \cdot x_p = 0 \quad (33)$$

F saadaan ratkaistua yhtälöstä

$$F = \frac{(F_{w,k} \cdot x_m)}{x_p} = \frac{(920 \text{ N} \cdot 0,488 \text{ m})}{0,06 \text{ m}} = 7,483 \text{ kN} \quad (34)$$

Yksittäisen hitsin laskemiseen on olemassa kaksi erilaista laskentatapaa. Laskentatapoja ovat tarkempi, eli komponenttimenetelmä, ja yksinkertaistettu menetelmä. Tässä tapauksessa käytetään yksinkertaistettua laskentatapaa. Yksinkertaistetussa laskentatavassa jännityksiä ei jaeta komponentteihin, vaan hitsiin syntyvä nimellinen jännitys  $\sigma_w$  oletetaan aina mahdollisimman epäedulliseksi eli leikkausjännityksen mukaiseksi. Mitoitettaessa otsahitsiä yksinkertaistettu laskentatapa johtaa lievään ylimitoitukseen. Tässä tapauksessa lievästä ylimitoituksesta ei ole mitään haittaa. (Airila ym. 2003.)

Nimellinen jännitys  $\sigma_w$ , jonka oletetaan edustavan hitsin kriittistä jännitystä  $\tau_w$ , ratkaistaan voiman F suunnasta riippumatta yhtälöstä

$$\sigma_w = \tau_w = \frac{F}{a_l} \quad (35)$$

Mitoitusehto on tässä tapauksessa

$$\tau_w = \frac{F}{a_l} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3}\gamma_{M2}\beta_w} \quad (36)$$

jossa  $l$  on hitsin pituus,  $\gamma_{M2}$  on materiaalin osavarmuusluku hitseille,  $f_u$  on perusaineen murtolujuus,  $\beta_w$  on perusaineen ja hitsiaineen lujuuksien suhdetta edustava kerroin.

Yhtälöä 36 järjestelemällä a-mitaksi saadaan

$$a = \frac{\sqrt{3}\gamma_{M2}\beta_w}{f_u} F \quad (37)$$

Runkorakenteen materiaalin on lujuusluokkaa S 355. Murtolujuuden ja  $\beta_w$  kertoimen arvot saadaan taulukosta 3, jolloin  $f_u$  on 510 MPa ja  $\beta_w$  on 0,9. Materiaalin osavarmuusluku  $\gamma_{M2}$  hitseille on 1,25 (Airila ym. 2003).

Taulukko 3. Rakenneteräksille käytettäviä murtolujuuksia ja  $\beta_w$  kertoimet (Airila ym. 2003).

Rakenneteräksen lujuusluokka	Murtolujuus $t < 40$ mm	$\beta_w$
S 235	360	0,8
S 275	430	0,85
S 355	510	0,9
S 420	520	1,0
S 460	540	1,0
S 700	750	1,0

Sijoittamalla arvot yhtälöön 37 saadaan

$$a = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,25 \cdot 0,9}{100 \text{ mm} \cdot 510 \text{ MPa}} 7,5 \text{ kN} = 0,287 \text{ mm}$$

Standardin mukainen laskentatapa ei sovellu liian pienille, eikä liian suurille pienahitsin a-mitoille. Liian pienet hitsit jäähtyvät liian nopeasti, jolloin niiden mikrorakenne tulee liian kovaksi. Tämän vuoksi a-mitalle on asetettu alaraja  $a \geq 3$  mm.

Pohjalevyn ja kannatinripojen välinen hitsi

Kannatinripojen pitkittäisiin hitseihin aiheutuu rasitusta voimista  $A_z$  ja  $B_z$ . Pohjalevyn ja kannatinripojen välissä on myös pienahitsi. Pienahitsi hitsataan rivan molemmilta puolilta, niiltä osin kuin se pystytään hitsaamaan, jotta saadaan parannettua sauman korroosionkestävyyttä. Palkin ja pohjalevyn väliin jäävä tila on niin ahdas, ettei sitä pystytä kunnolla hitsaamaan.

Tässä tapauksessa hitsien yhteenlaskettu pituus on 200 mm. Hitsit on tarkoitus hitsata a-mitalla 3 mm, joka on standardin SFS-EN 1993-1-8 mukaan a-mitan alaraja. Tarkistetaan kuinka suuren voiman hitsi kestää. Yhtälöstä 36 järjestelemällä saadaan

$$F = \frac{a l f_u}{\sqrt{3} \gamma_{M2} \beta_w}$$

Materiaalin arvo  $f_u$  on 510 MPa,  $\beta_w$  on 0,9 ja  $\gamma_{M2}$  on 1,25. Sijoittamalla arvot yhtälöön saadaan

$$F = \frac{3\text{mm} \cdot 200\text{mm} \cdot 510\text{N/mm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,25 \cdot 0,9} = 157 \text{ kN}$$

Hitsi kestää 157 kN:n voiman. Se on laskennalliseen rasitukseen, n. 1 kN, verrattuna huomattavan vahva hitsi. Ripojen ei tarvitsisi olla hitsattu molemmilta reunoilta, mutta hitsi tehdään korroosionkestävyyden parantamiseksi.

Palkin ja kannatinripojen väliselle hitsille ei tehdä lujuusmitoitusta. Palkin ollessa tiukasti rivan urassa, ripa ottaa vastaan palkkiin kohdistuvat voimat.

## 4 Tekniset piirustukset

Insinööriytyöhön liittyvät tekniset piirustukset tehtiin Catia V5 CAD -ohjelmistolla suoraan 3D-mallien pohjalta. Catia V5 sisältää hyvin monipuolisen piirustustyökalun, jolla pystytään luomaan standardin mukaisia työ- ja kokoonpanopiirustuksia sekä osaluetteloita.

### 4.1 Piirustusten merkitys ja niiden perusvaatimukset

Tekninen piirustus on teknisten asioiden perusteellinen ja yksiselitteinen ilmaisutapa. Teknisille piirustuksille on pitkälle vietyjen piirtämissääntöjen ja standardisoinnin tuloksena syntynyt kansainvälinen merkki- ja kuvakieli. Eri maiden piirustussääntöjen eroavaisuudet ovat vähäisiä, jotta kunkin ammattialan henkilöt pystyvät ilman vaikeuksia ymmärtämään minkä tahansa maan piirustuksia. Piirustuksen on määritettävä yksikäsitteisesti esittämänsä osa tai asia. Pieneltäkin vaikuttava virhe tai piirustuksen väärintulkinta saattavat johtaa käytännössä tuotteen virheelliseen valmistukseen ja hylkäämiseen. Tämän vuoksi on tärkeää, että koneenpiirustuksen standardeja noudatetaan tarkasti. (Pere 2009.)

Hyvän konepiirustuksen laatimiseen ei riitä pelkästään koneenpiirustusopin ja -standardien hallinta. Piirustusten laatijan täytyy tuntea mm. erilaiset valmistusmenetelmät ja niiden vaatimukset. Piirustuksen käyttötarkoitus määrittää, mitä piirustukseen merkitään ja millä tavalla osan tai asian kuvat siinä esitetään.

### 4.2 Piirustusten laadintaprosessi

Piirustusten laadinta aloitettiin, kun järjestelmän mekaaninen suunnitteluprosessi oli saatu valmiiksi. Suunnittelun aikana osien 3D-malleihin oli lisätty huomautuksia osien materiaalista ja mahdollisista muista vaatimuksista, kuten esim. ruuvien koko, pituus, kovuus, standardi, ym., jotta työpiirustusten tekeminen olisi helpompaa ja nopeampaa.

Piirustukselle valittiin sopivan kokoinen paperi (A4-A0), jotta se saatiin sopimaan standardin SFS-EN ISO 5455 mukaisia mittakaavoja käyttäen. Piirustus tulisi mahdollisuuk-

sien mukaan esittää todellisessa koossaan. Mikäli osaa ei sen koon vuoksi pystytä esittämään 1:1 mittakaavassa, hyväksyttäviä pienennys mittakaavoja ovat 1:2, 1:5, 1:10, 1:20, 1:50, 1:100 jne. (Pere 2009.)

Piirustusten teossa pyrittiin merkitsemään kunkin osan valmistumenetelmää ajatellen olennaiset mitat. Huomioon otettavia valmistusmenetelmiä olivat mm. hitsaaminen, koneistaminen ja särmääminen. Piirustuksista tehtiin mahdollisimman selkeät ja käytettiin kappaleiden symmetriaa apuna turhan mitoittamisen välttämiseksi. Jokaisesta osasta piirrettiin tarvittava määrä projektioita yksiselitteisen piirustuksen luomiseksi.

Työpiirustukset tarkastettiin insinööriyön ohjaajan Tero Karttialan toimesta. Tarkastuksessa ilmeni joitain puutteita ja virheitä, kuten puuttuvia ja muutamia ylimääräisiä mittoja. Puutteet ja virheet korjattiin viimeisiin versioihin.

#### 4.3 Piirustusten numerointi

Piirustukset on jaettu neljään osakokoonpanoon. Piirustusten numerointi on toteutettu siten, että piirustus numero 10000 on pääkokoonpanopiirustus (liite 2). Pääkokoonpanopiirustuksesta löytyvät osakokoonpanot sekä niiden asennukseen tarvittavat osat ja tarvikkeet. Osakokoonpanopiirustukset on numeroitu siten, että ne ovat aina tasatuhatlukuja. Jokaiseen osakokoonpanoon liittyvät työpiirustukset on numeroitu juoksevasti samalle tuhatluvulle 10 tuhannesta alaspäin. Esimerkiksi linkkien kannattimen runkorakenteen osakokoonpanopiirustus on piirustus numero 9000 (liite 3). Osakokoonpanoihin liittyvät työpiirustukset on numeroitu osakokoonpanosta juoksevasti eteenpäin. Osakokoonpanoon 9000 sisältyvät työpiirustukset ovat piirustukset numerot 9001—9005 (liitteet 7—10). Piirustus numero 9003 jätettiin pois kappaleen ollessa niin yksinkertainen, että sen pystyi esittämään piirustuksen 9000 osaluettelossa materiaali- ja mittatiedoilla.

Osakokoonpano numero 8000 (liite 4) sisältää radiolinkkien ja kääntömoottorin AR/AE 1064 väliin asennettavan sovitelevyn. Osakokoonpanossa numero 7000 (liite 5) on ohjeet mastoauton maston päähän tehtäviin muutoksiin. Osakokoonpano numero 6000 (liite 6) sisältää linkkien ohjausyksikön kotelon kokoonpanon, joka asennetaan auton helmassa olevaan laatikkoon.



#### 4.4 Osaluettelot

Osaluettelo on tärkeä tekninen asiakirja. Suuret osaluettelot tehdään omalle sivulleen, mutta pienemmissä kokoonpanoissa osaluettelon voi sisällyttää piirustuksen yhteyteen. Linkkien suuntausjärjestelmän pää- ja osakokoonpanopiirustukset sisältävät osaluettelon. Osaluetteloissa olevat osat ja tarvikkeet on numeroitu ja osoitettu piirustuksessa olevasta kuvasta. Mikäli osaluettelo on piirustuksen kanssa samalla sivulla, tulee luettelo numeroida juoksevasti alhaalta ylöspäin. Osaluetteloon tulee merkitä kaikki osat jotka tarvitaan piirustuksessa esitetyn osan kokoonpanemiseen. (Pere 2009.)

Osaluetteloon merkitään nimitys jokaiselle osalle. Mikäli osa on valmistettava, ja sille on tekninen piirustus, on piirustuksen numero merkittävä osaluetteloon. Yleisille tarvikkeille, kuten ruuveille ja muttereille, täytyy merkitä mitat ja standardi. Osaluetteloon merkittäville osille, jotka on tilattava ulkopuoliselta valmistajalta, on merkittävä malli niin tarkasti ja yksiselitteisesti, että kyseisen osan tilaus voidaan tehdä osaluettelon avulla. (Pere 2009.)

#### 4.5 Toleranssit

Kappaleen suunnittelussa tulee ottaa huomioon tarvittava valmistustarkkuus. Valmistuksessa ei vaadita noudattamaan ehdottomasti mittoja, jotka piirustukseen on merkitty, vaan piirustuksessa määritetään se alue, jonka rajoissa mitan on oltava. Tätä aluetta kutsutaan toleranssiksi. Kappaleen mittojen oleminen toleranssin sisällä tekee mahdolliseksi kokoonpanotyön ilman osien sovitusta sekä vaihto-osien valmistamisen. Toleranssilla voidaan antaa vaihteluväli mitalle, muodolle, suunnalle tai sijainnille. (Pere 2009.)

Insinööriyön piirustuksissa ei juurikaan ollut tarvetta käyttää mittakohtaisia toleransseja, vaan mitoille määrättiin tarkkuudet yleistoleranssien avulla. Koneistettujen osien yleistoleranssin määrää standardi SFS-EN 22768-1. Toleranssille on neljä eri tarkkuusluokkaa. Tarkkuusluokkia vastaavat toleranssien suuruudet löytyvät standardista. Tarkkuusluokat ovat hienoimmasta karkeampaan f, m, c ja v. Standardin SFS-EN 22768-1 mukainen toleranssimerkintä kirjoitetaan piirustukseen sille varatulle paikalle muotoon ISO 2768-tarkkuusluokka (esim. ISO 2768-f). (SFS-EN 22768-1 1993.)

Hitsattuja rakenteita koskevia yleistoleransseja määrittää standardi SFS-EN ISO 13920. Linkkien kannatinrunгон (piirustus nro 9000, liite 3) kokoaminen tapahtuu hitsaamalla. Pituusmittoja ja kulmamittoja koskevat toleranssit määritetään tarkkuusluokilla A, B, C ja D, lueteltuna hienoimmasta karkeimpaan. Suoruus, tasomaisuus ja yhdensuuntaisuus määritetään tarkkuusluokilla E, F, G ja H, lueteltuna hienoimmasta karkeimpaan. Piirustukseen standardin mukainen tarkkuusluokka merkitään sille varatulle paikalle kirjoittamalla EN ISO 13920-tarkkuusluokka tai niiden yhdistelmä (esim. EN ISO 13920-C tai EN ISO 13920-CE). (SFS EN-ISO 13920 1996.)

Tähän työhön liittyvissä työpiirustuksissa käytettiin tarkkuusluokan ISO 2768-m ja ISO 2768-c -yleistoleransseja. Piirustukseen nro 9000 käytettiin hitsatun rakenteen toleranssiluokkaa EN ISO 13920-B.

## 5 Yhteenveto

Insinööriytyössä suunniteltiin linkkien suuntausjärjestelmä Yleisradion mastoautoon. Työn tuloksena saatiin tekniset piirustukset osaluetteloiheen (liitteet 2—13), joiden pohjalta järjestelmä voidaan valmistaa. Kaapeloinnin sekä sähköasennusten suunnittelemisen jäi järjestelmän valmistavan yrityksen vastuulle, kuten alun perin oli suunniteltu.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan mastoon tulisi sijoittaa kaksi tai kolme moottoria. Suunnitteluprosessin edetessä päätettiin mastoon suunnitella kiinnikkeet kahdelle moottorille. Kolmannen moottorin olisi maston keulaylitystä koskevien säädösten johdosta oltava irrotettava. Kääntömoottorin ja sen kannakkeen massa oli liian suuri pelkällä lihasvoimalla asennettavaksi. Tämän vuoksi kolmannen moottorin kiinnikkeen suunnittelusta aiheutuvasta lisätyöstä ei olisi saanut vastaavaa hyötyä. Kolmannen kääntömoottorin tilalle suunniteltiin asennettavaksi teleskooppimasto, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi keveiden radioantennien kiinnityspisteenä. Teleskooppimasto on täysin manuaalisesti venytettävä ja kokoonpantava.

Järjestelmän toimivuus selviää käytännössä vasta sen jälkeen, kun se on valmistettu, asennettu mastoautoon ja koekäytetty. Tämänkin jälkeen eteen voi tulla asioita, joita ei suunnitteluvaiheessa otettu huomioon. Tietokonemallin perusteella linkit liikkuvat esteettä kaikkiin tarvittaviin suuntiin. Mahdolliset suunnitteluvirheet ja työpiirustuksissa olevat puutteet ja virheet tulevat myös monesti esille vasta valmistusvaiheessa.

Toteutuessaan linkkien suuntausjärjestelmä helpottaa ja nopeuttaa mastoauton käyttöä erilaisissa työtehtävissä. Tutuissa lähetyspaikoissa voidaan linkit suunnata maasta käsin, jolloin mastoon ei tarvitse kenenkään kiivetä. Tämä on merkittävä työturvallisuutta parantava seikka. Käytettäessä mastoa langattomien kameroiden vastaanottopisteenä voidaan vastaanottimia suunnata lähetyksen aikana paljon nopeammin ja helpommin kuin aikaisemmin. Kääntömoottoreiden kiinnikkeisiin on mahdollista asentaa myös kamera. Kameran suuntaaminenkin onnistuu maasta käsin, jolloin kuvaa voi rajata ja säätää helposti.

## Lähdeluettelo

Airila, M., Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., Klemola, M., Martikka, H., Miettinen, J., Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, J., Salonen, P., Verho, A., Vilenius, M. & Välimaa, V. 2003. Koneenosien suunnittelu. Porvoo: WSOY.

Çengel, Y. A. & Cimbala, J. M. 2010. Fluid mechanics: Fundamentals and applications. 2nd edition. Boston: McGraw-Hill.

Eurokoodi 5. 2009. Teoksessa Puurakenteiden suunnittelu Lyhennetty suunnitteluohje (Liite B). Puuinfo Oy.

Karhunen, J., Lassila, V., Pyy, S., Ranta, A., Räsänen, S., Saikkonen, M. & Suosara, E. 1992. Lujusoppi. 8. painos. Helsinki: Otatieto.

Kärki, E & Lampinen R. 1987. Liikenneministeriön ajoneuvoasetuksen erivapaus. Helsinki. Päättösasiakirja.

Lerkki, T. 2015. Siirtoyhteystekniikan päällikkö, Yleisradio Oy, Helsinki. Keskustelu 31.8.2015.

Pere, A. 2009. Koneenpiirustus 1 & 2. Espoo: Kirpe Oy.

SFS-EN 22768-1. Yleistoleranssit. 1993. Ilman toleranssimerkintää olevien pituus- ja kulmamittojen toleranssit. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.

SFS EN-ISO 13920. Hitsaus. 1996. Hitsattuja rakenteita koskevat yleistoleranssit. Pituus- ja kulmamitat. Muoto ja sijainti. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.

SFS-EN 1993-1-8 + AC. Eurocode 3. 2005. Teräsrakenteiden suunnittelu. Liitosten suunnittelu. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.

SSAB. 2016. Data sheet EN 10219 S355. Käsikirja.

SSAB. 2016. Structural hollow sections. Käsikirja.

Subject to technical modifications. 2011. Wilhelm Winter GmbH & Co. KG. Tuoteluettelo.

Tuulidiagramma. 1989. Vema Lift Oy.

Tuuliennätyksiä. 2016. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos.  
<<http://ilmatieteenlaitos.fi/tuuliennatyksia>>. Päivitetty 6.2.2015. Luettu 9.9.2015.

Wells, H. 2015. Head of international sales, Total Mast Solutions, Quorn.  
Sähköpostikeskustelu. 13.11.2015.

Winter, Thomas. 2015. Managing Associate, Wilhelm Winter GmbH & Co. KG,  
Düsseldorf. Sähköpostikeskustelu. 23.10.2015.

**Moottorin AR/AE 1064 tekniset tiedot**

Range of movement	AZ	+/- 185°
	EL	-10° bis 120°
Machanical accuracy		< +/- 0,1°
Speed of rotation	AZ	approx. 2,0°/sec.
	EL	approx. 2,0°/sec.
Permissible delivererd torque	AZ	approx. 600 Nm
	EL	approx. 600 Nm
Initial breakaway torque	AZ	max. 1000 Nm
	EL	max. 1000 Nm
Operating voltage		24 up to 28 VDC
Power consumption	AZ	approx. 6 A
	EL	approx. 6 A
Permissible ambient temperature		-30° up to +60° C
Weight		approx. 45 kgs
Switch on-time		max. 25 %

(Subject to technical modifications 2011)

**Front view**

**Section view A-A**

**Isometric view**  
Scale: 1:20

No	Osan nimi	ISO 4034	M16	4
15	Mutteri	ISO 4034	M16	4
14	Aluslevy	ISO 7089	M16	4
13	7000			1
12	Masto	ISO 4017	M8x 25 8.8	18
11	Mutteri	ISO 4034	M8	11
10	Aluslevy	ISO 7089	M8	23
9	Ruuvi	ISO 4017	M8x 40 8.8	4
8	Lower fixing bracket		Total Mast Solutions BK.30105	1
7	Roof bracket		Total Mast Solutions BK.30005	1
6	Teleskooppimasto		Total Mast Solutions O0.6313H	1
5	Aluslevy	ISO 7089	M10	12
4	Ruuvi	ISO 4017	M10x 25 8.8	12
3	Sovite			2
2	Kääntömoottori		Winter machinenbau, Rotor AR/AE 1064	2
1	Runko			1
Osa Piir. nro	Nimitys	Standardi	Muoto, Malli	Laatu kpl

**Linkkien suuntausjärjestelmä**

**METROPOLIA Konetekniikka**

**A2**

**1:5 474,31**

**10000**

**1/1**

**Linkkien suuntausjärjestelmä**

**METROPOLIA Konetekniikka**

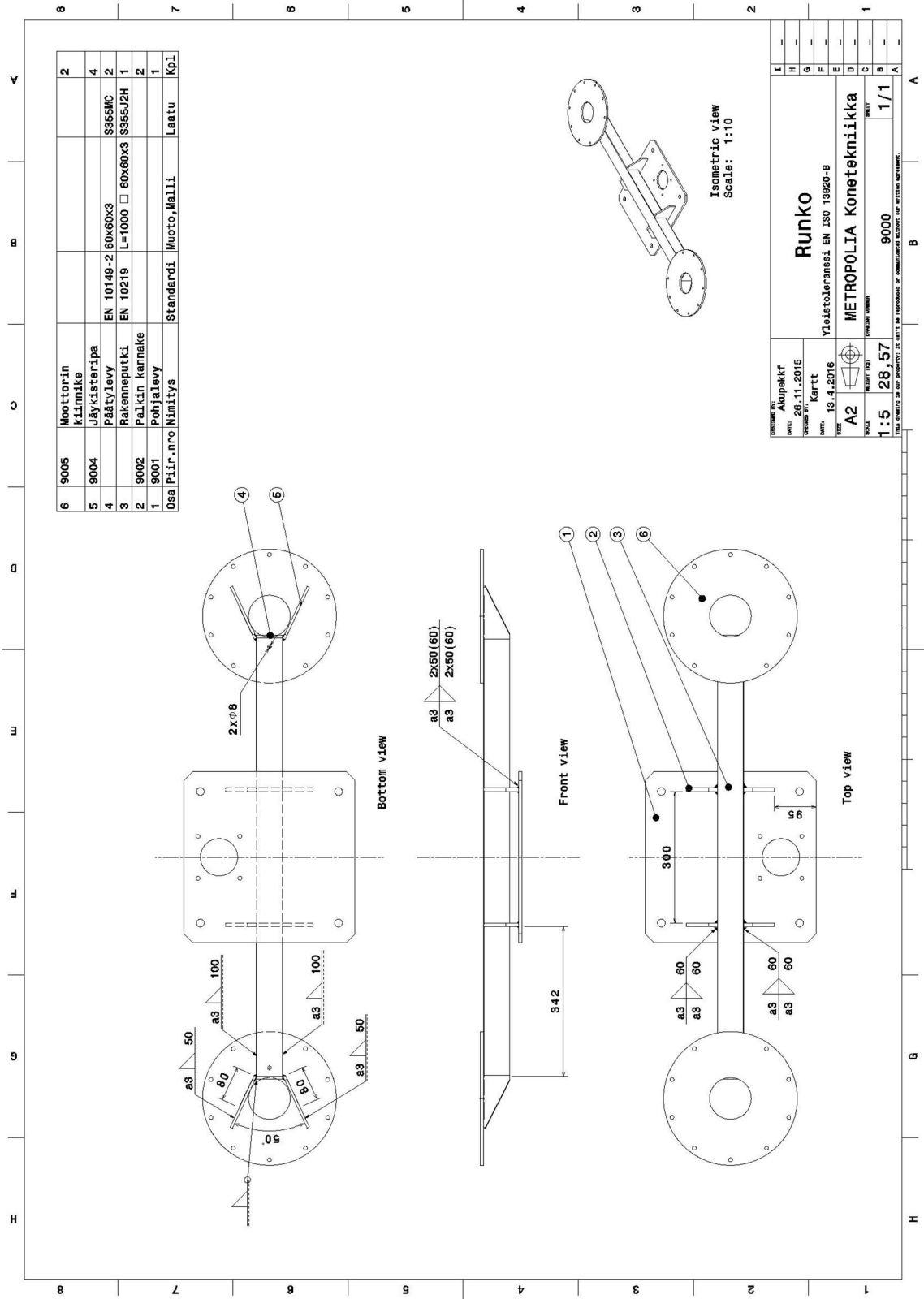
**A2**

**1:5 474,31**

**10000**

**1/1**

Piirustus nro 9000





4	Uppokantaruuvi	ISO 10642	M5x 20 8.8	2
3	Kuusiokoloruuvi	ISO 4762	M5x 20 8.8	2
2	Gigawave		Vislink, Quick release for MVL-HD2	1
1	8001			1
Osa Piir.nro		Nimitys	Muoto, Malli	Laatu Kpl

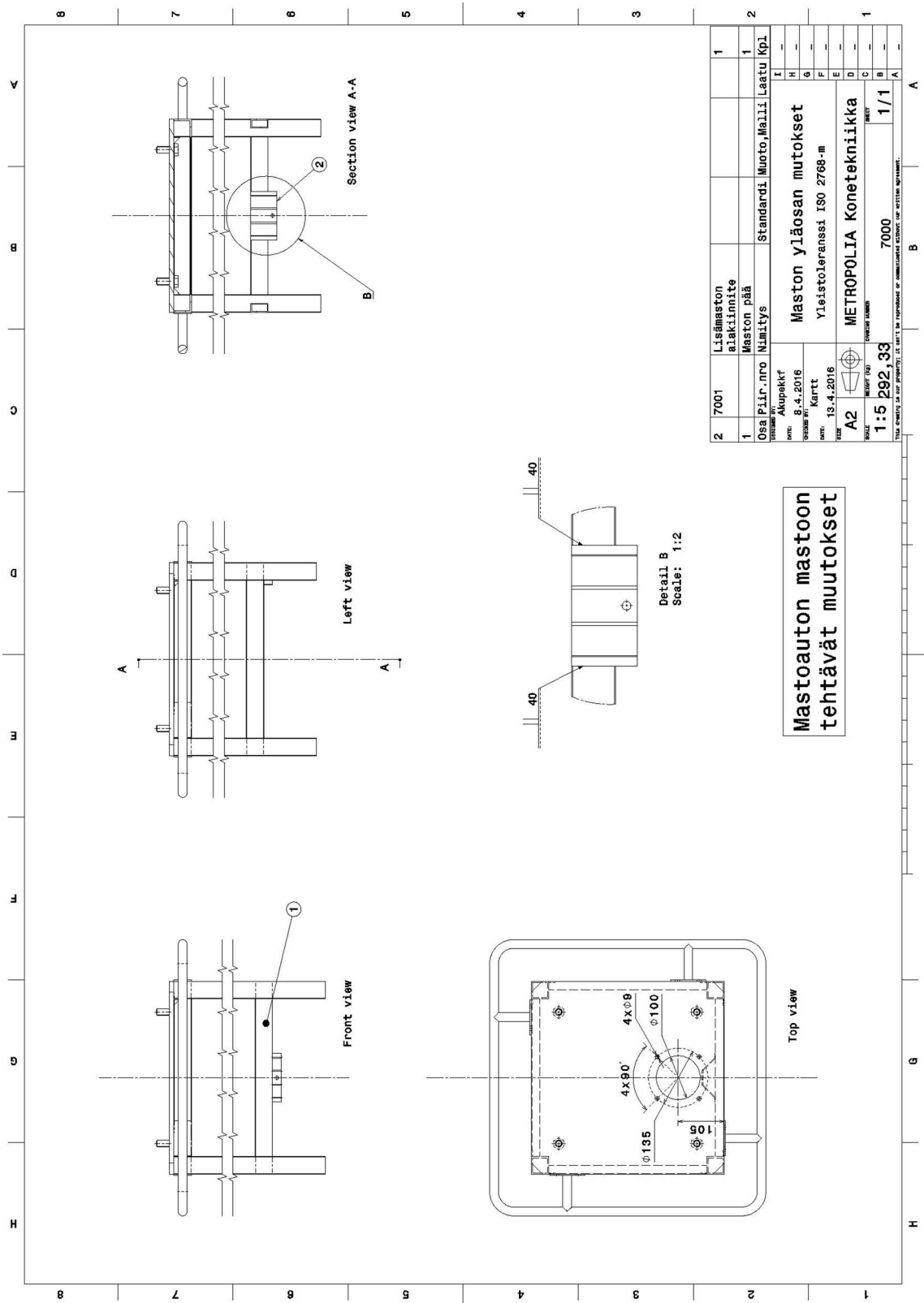
  

**Bottom view**

**Front view**

DRAWING BY: <b>Akupekkf</b> DATE: <b>8.4.2016</b> CHECKED BY: <b>Kartt</b> DATE: <b>13.4.2016</b>		<h1 style="text-align: center;">Linkkisoite</h1>	
SIZE: <b>A3</b> SCALE: <b>1:2</b>	SHEET: <b>1/1</b>		
METRIC (mm) <b>1:2 2,2</b>		<b>8000</b>	
DRAWING NUMBER <b>METROPOLIA Konetekniikka</b>			
THIS DRAWING IS OUR PROPERTY; IT CAN'T BE REPRODUCED OR COMMUNICATED WITHOUT OUR WRITTEN AGREEMENT.			

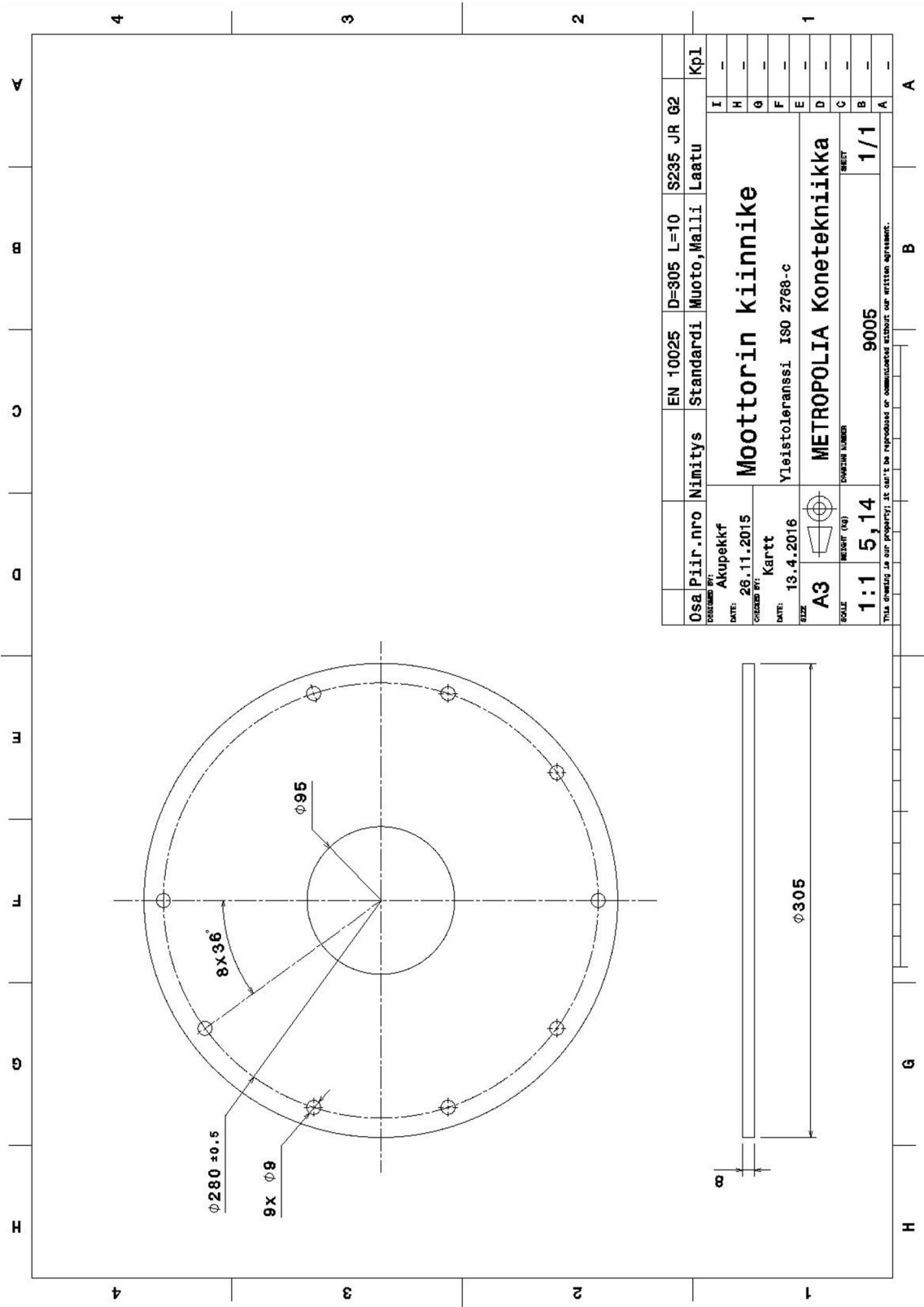
Piirustus nro 7000



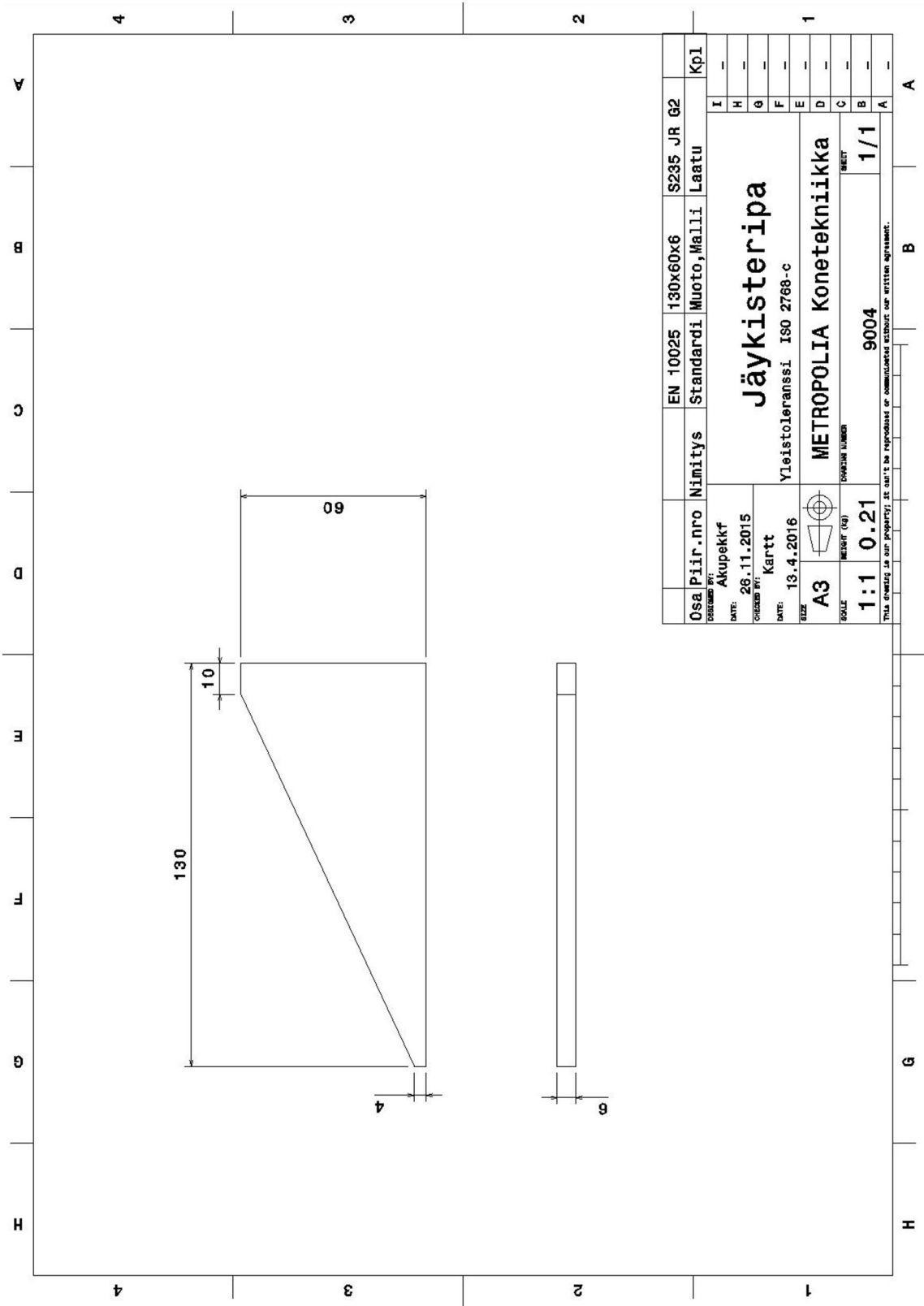
The drawing shows a control unit enclosure with the following dimensions and part numbers:

- Front view:**
  - Overall width: 1200 mm (12 x 100 mm modules)
  - Overall height: 400 mm (4 x 100 mm modules)
  - Mounting bracket height: 100 mm
  - Mounting bracket width: 100 mm
  - Mounting bracket depth: 100 mm
  - Mounting bracket material: DIN 7337-A 5x12
  - Mounting bracket fasteners: M8
  - Mounting bracket fasteners: M8x40
  - Mounting bracket fasteners: DIN 41494 L=200
  - Mounting bracket fasteners: Ohjausyksikön kotelo
  - Mounting bracket fasteners: Standardi
  - Mounting bracket fasteners: Muoto, Malli
  - Mounting bracket fasteners: Laatu Kpl
- Isometric view:**
  - Overall width: 1200 mm
  - Overall height: 400 mm
  - Mounting bracket height: 100 mm
  - Mounting bracket width: 100 mm
  - Mounting bracket depth: 100 mm

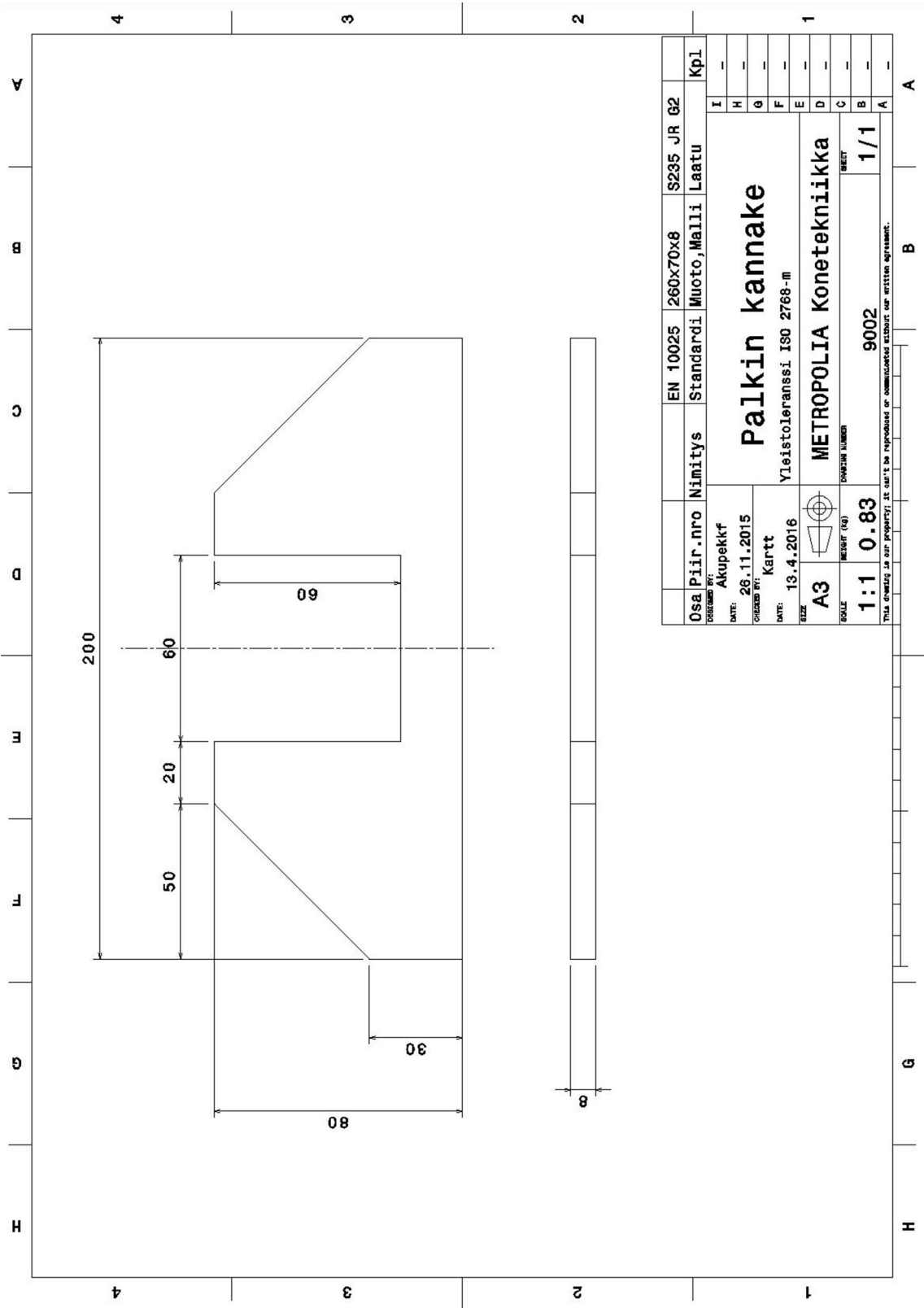
Piirustus nro 9001



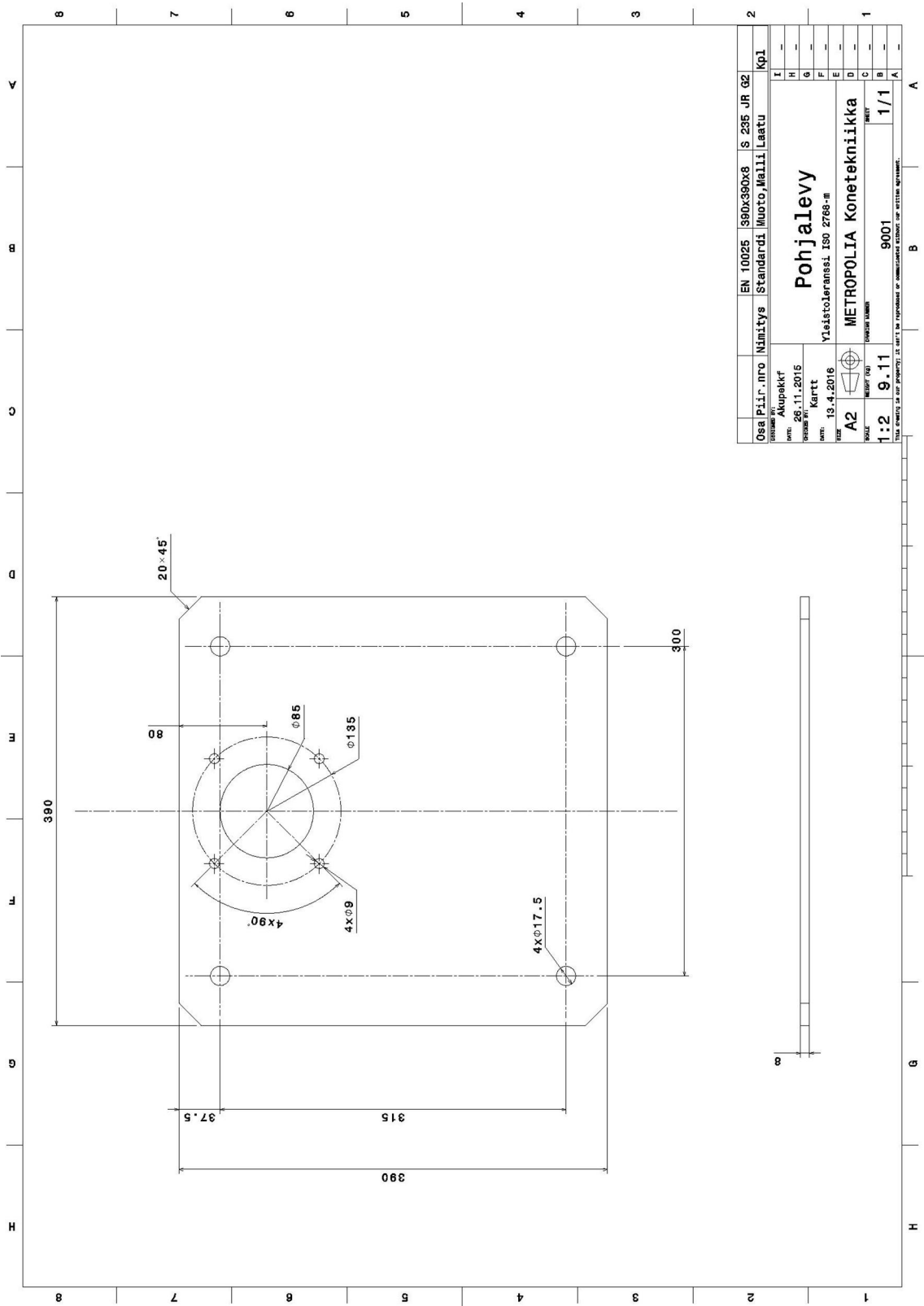
Piirustus nro 9004



Piirustus nro 9002



Piirustus nro 9001



**Technical Drawing of Sovitelevy (Cover Plate)**

**Top View Dimensions:**

- Overall width: 414
- Overall height: 380
- Left side hole spacing: 39, 38, 38, 38
- Right side hole spacing: 86, 120
- Left side hole diameter: 6x Ø11
- Bottom edge thickness: 10

**Side View Dimensions:**

- Overall height: 10

**Table of Specifications:**

Osa Piir. nro	Nimitys	EN AW-5754 Standardi	420x160x10 Muoto, Malli	Almg3 Laatu	Kp1
<b>Sovitelevy</b> Yleistoleranssi ISO 2768-m METROPOLIA Konetekniikka DRAWING NUMBER: 8001					
TOIMITUS VI: Akupekkf DATE: 26.11.2015 CHECKED BY: Kartt DATE: 13.4.2016 SIZE: A3 SCALE: 1:2 1.71					
1:2 1.71 8001 1/1					



**Front view**

Dimensions: 60, 10,  $\phi 8$

**Top view**

Dimensions: 110.5, 30, 135°, 135°, R3, R3

**Unfolded view**

Dimensions: 132.2, 50.9, 11.5

Lisämaston alakannake		EN 10149-2 60x140x2	S355MC
Osa Piir.nro	Nimitys	Standardi	Muoto, Malli
AKUPEKKF			Kpl
DATE: 8.4.2016	Lisämaston alakiinnike		
CHIEFED BY: Kartt	Yleistoleranssi ISO 2768-m		
DATE: 13.4.2016	METROPOLIA Konetekniikka		
SIZE A3	SHEET 1/1		
SCALE 1:1	0,12	7001	
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.			

Piirustus nro 6001

